Wissensspeicher Astronomie
Dr. Helmut Bernhard
Dr. Klaus Lindner
Prof. Dr. Manfred Schukowski
Copyright © Volk und Wissen Verlag GmbH, Berlin 1995

Compendiu de astronomie
Dr. Helmut Bernhard
Dr. Klaus Lindner
Prof. Manfred Schukowski
Copyright © 2001 **ALL EDUCATIONAL**

Toate drepturile asupra prezentei ediţii aparţin Editurii **ALL EDUCATIONAL**. Nici o parte din acest volum nu poate fi copiată fără permisiunea scrisă a editurii. Drepturile de distribuţie în străinătate aparţin în exclusivitate editurii.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale
BERNHARD, HELMUT
Compendiu de astronomie / Helmut Bernhard, Klaus Lindner, Manfred Schukowski; trad.: Costi Furtună. - Bucureşti: **ALL EDUCATIONAL**, 2001
192 p. ; Il.; 21 cm.
Tit. orig. (ger): Wissensspeicher Astronomie
ISBN 973-684-315-7
I. Lindner, Klaus
II. Schukowski, Manfred
III. Furtună, Costi
52(035)

Referent: Asist. univ. Gabriela Pop
Redactor: Lucian Călianu

Editura **ALL EDUCATIONAL**
B-dul Timişoara, nr. 58, sect.6
76548 – Bucureşti
tel: 402 26 00, 402 26 10
tel: 402 26 20

Distribuţie:
Comenzi la: comenzi@all.ro
URL: http://www.all.ro

Tipar: *Mast* Sibiu • Tel & Fax 069/23.11.10

COMPENDIU DE ASTRONOMIE

Helmut Bernhard

Klaus Lindner

Manfred Schukowski

Traducere: Costi Furtună

2001

ALL

6. Structura şi evoluţia Cosmosului 155
Structura Cosmosului 155
Evoluția Universului 160

7. Istoria astronomiei 165
Începuturile astronomiei 165
Astronomia la începutul Antichității 166
Astronomia în Antichitate 168
Reprezentări ale Universului în Antichitate 169
Astronomia modernă 171
Evoluția astronomiei clasice 173
Dezvoltarea astronomiei ca disciplină de specialitate 176
Cercetarea astronomică în secolul al XX-lea 177
Istoria astronomiei - Tabel cronologic 182

Unitâti fizice şi simboluri astronomice; abrevieri 188

Index 189

În această carte sunt folosite următoarele simboluri:

↗ Trimitere la un alt titlu
■ Exemplu

Obiectul, metodele şi mijloacele astronomiei

GENERALITĂŢI

Astronomia

Ştiinţa proprietăţilor fizice, a compoziţiei chimice, a structurii, a distribuţiei spaţiale, a deplasării, apariţiei şi evoluţiei obiectelor cosmice.
Astronomia este una dintre cele mai vechi ştiinţe ale naturii.

↗ Tabel cronologic privind istoria astronomiei, p. 182.

Obiectul de studiu. Starea şi evoluţia Universului, ca şi a sistemelor şi a corpurilor cereşti conţinute în acesta.

Domenii ştiinţifice. Astronomia este împărţită în domenii, între care există multiple legături. Întrucât la baza împărţirii în domenii stau diferite puncte de vedere, domeniile ştiinţifice pot fi doar cu aproximaţie decupate.

Clasificarea după tipul radiaţiei cercetate	
Domeniul	Radiaţia studiată
Astronomia optică	Unde electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 400 nm... 800 nm* (domeniul optic, lumină)
Astronomia nonoptică Radioastronomia	radiaţii invizibile: radiaţii electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 1 mm... 20 m (radiaţie de radiofrecvenţă)
Astronomia în infraroşu	unde electromagnetice cu lungimi de cca. 0,001mm...1 mm (radiaţie infraroşie)
Astronomia în ultraviolet	radiaţii electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 10 nm... 400 nm (radiaţie ultravioletă)
Astronomia Roentgen	radiaţii electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 0,01 nm .... 10 nm (radiaţie Roentgen)
Astronomia în gamma	radiaţii electromagnetice cu lungimile de undă până la 0,01nm (radiaţie gamma)
Neutrinoastronomia	neutrinii emişi de obiectele cosmice

*1 nanometru (nm) = 10^{-9} m

Clasificarea după obiectivul urmărit şi după metodele utilizate	
Domeniul	Obiectiv / Metode
Astronomie clasică	Determinarea poziţiilor şi a mişcărilor corpurilor cereşti prin metode astronomice şi metode ale mecanicii cereşti.
Astronomie (astronomie sferică, astronomie poziţională)	Măsurarea poziţiei corpurilor cereşti pe bolta cerească, precum şi metode şi instrumente necesare îndeplinirii acestei sarcini.
Mecanică cerească	Cercetarea deplasării corpurilor cereşti în spaţiu, care se manifestă sub influenţa forţelor gravitaţionale. Determinarea traiectoriei corpurilor cereşti (în special a corpurilor aparţinând Sistemului Solar).
Statistică stelară	Cercetarea repartiţiei spaţiale şi a mişcării stelelor prin metode statistice, în scopul aprofundării cunoştinţelor despre structura Căii Lactee (şi a altor galaxii), despre mişcările din interiorul galaxiilor, ca şi despre răspândirea galaxiilor în Univers.
Astrofizică	Cercetarea caracteristicilor fizice şi a compoziţiei chimice a corpurilor cosmice, precum şi cercetarea modificărilor survenite în evoluţia acestor corpuri, atât prin studierea radiaţiilor emise de ele din punct de vedere al intensităţii, polarizării şi compoziţiei, cât şi prin studii teoretice.
Cosmogonie	Cercetarea apariţiei şi evoluţiei corpurilor cereşti.
Cosmologie	Cercetarea structurii şi a evoluţiei întregului Univers.

Cosmos, Univers

Totalitatea spaţiului ocupat de substanţă şi energie.

În prezent, cercetării astronomice îi este accesibil un spaţiu cu o rază de cca 4 miliarde de parseci (aproximativ 13 miliarde de ani-lumină). Partea observabilă a Universului este apreciată a avea o masă totală de circa 5 x 10^{21} mase solare.

↗ Unităţi de distanţă, p. 111; ↗ Soarele, p. 99.

Gravitaţia

Interacţiunea universală a întregii materii, legată de proprietatea acesteia de a deţine masă.

O desemnare specială a gravitaţiei ca forţă a greutăţii caracterizează atracţia maselor plasate în apropierea Pământului sau a altor corpuri cereşti, atracţie datorată masei Pământului, respectiv masei altor corpuri cereşti.

↗ Legea gravitaţiei, p. 48.
↗ Acceleraţia gravitaţională, p. 120.

Corpuri cereşti

Toate corpurile naturale aflate în Univers, în special stele şi planete. Într-un sens mai larg, sateliţi, planetoizi, comete şi meteoriţi.

Materie interstelară

Nori de gaze şi de praf cu o mare întindere, dar cu o densitate redusă, aflaţi între stelele Căii Lactee sau în alte sisteme stelare. Gazele şi praful compun, împreună, materia interstelară. În centrul galaxiei, gazele se găsesc într-o proporţie de 99%. ↗ Structura Căii Lactee, p. 140.
↗ Materia interplanetară, p. 95. ↗ Materia intergalactică, p. 154.

Câmpuri în Univers

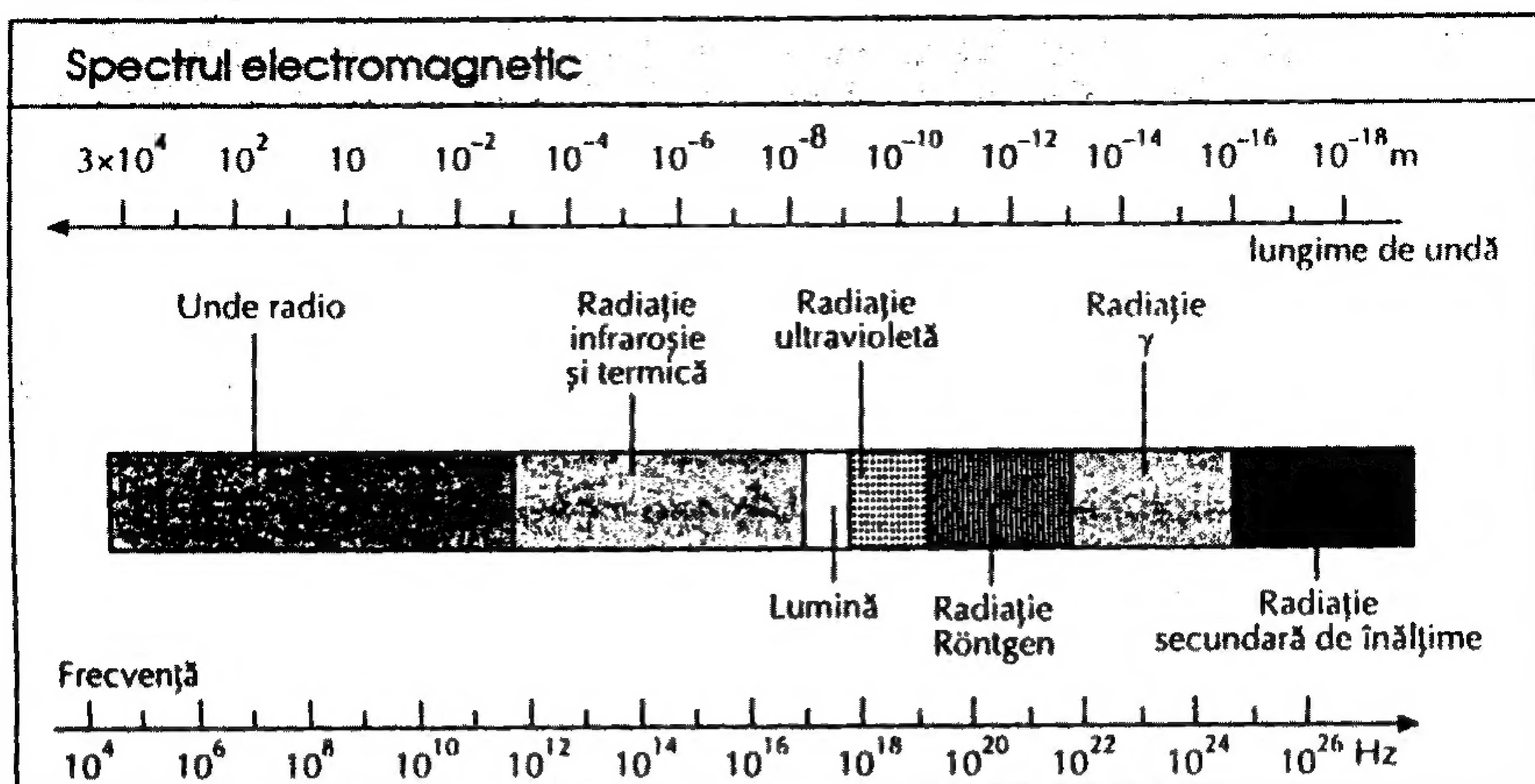
Porţiuni în Univers în care fiecărui punct i se atribuie o anumită valoare a unei mărimi fizice (forţa gravitaţiei, intensitatea câmpului electric, intensitatea câmpului magnetic etc.).

Câmpul gravitaţional. Fiecare corp, ca urmare a existenţei masei sale, este înconjurat de un câmp gravitaţional. Fiecărui punct al câmpului gravitaţional i se atribuie o intensitate a câmpului egală cu $G \cdot m \cdot r^{-2}$ (G = constanta gravitaţională; m = masa; r = distanţa până la centrul de masă). Lucrul mecanic necesar aducerii unei mase de probă din Univers în câmpul gravitaţional al unui corp este egal cu produsul dintre masa corpului de probă şi potenţialul gravitaţional al câmpului gravitaţional $G \cdot m \cdot r^{-1}$. Câmpul gravitaţional se manifestă radial, din toate masele aflate în Univers, în toate direcţiile. ↗ Legea gravitaţiei, p. 48.

Câmpul magnetic. Pământul, Soarele şi multe alte corpuri cereşti sunt înconjurate de câmpuri magnetice de intensităţi diferite.
Câmpurile magnetice apar ca urmare a proceselor fizice care au loc în interiorul obiectelor cereşti şi influenţează, la rândul lor, condiţiile fizice de la suprafaţa şi din vecinătatea obiectelor cereşti.
↗ Magnetosfera Pământului, p. 65. ↗ Câmpul magnetic al Soarelui, p. 100.
↗ Activitatea solară, p. 104. ↗ Câmpul magnetic al stelelor, p. 121.

În norii formaţi din gaze interstelare, câmpul magnetic se produce prin mişcarea particulelor încărcate electric (ioni, plasmă etc.).
↗ Gazul interstelar, p. 144. ↗ Câmpul magnetic interplanetar, p. 47.
↗ Materia intergalactică, p. 154.

Câmpuri de radiaţie. Zone din Cosmos în care energia se propagă sub forma undelor electromagnetice sau a particulelor materiale.
În cazul unei radiaţii electromagnetice, în jurul sursei de radiaţie (de exemplu Soarele, stelele) se propagă câmpuri electrice şi magnetice. Intensitatea acestora este variabilă în fiecare punct.
Până la mijlocul secolului al XX-lea, dintre undele electromagnetice emise de stele nu puteau fi studiate decât radiaţiile luminoase. Din 1950, acestora li s-au adăugat şi emisia radio. Prin zborurile cosmice, cercetării astronomice îi stă astăzi la dispoziţie întreg spectrul electromagnetic.



Limitele cunoaşterii

Limitele tehnologice sau naturale condiţionează cunoaşterea umană. Limitele cunoaşterii în astronomie pot fi temporare sau principiale.

Limite ale cunoaşterii impuse de dezvoltarea tehnică

Acestea sunt date de tipul, de sensibilitatea aparatelor şi de acurateţea metodelor. Cu ajutorul unor aparate şi metode perfecţionate, limitele cunoaşterii sunt împinse tot mai departe.

- Descoperirea şi continua perfecţionare a telescopului a făcut ca numărul corpurilor cereşti observate să crească în mod continuu.
- Folosirea fotografiei în astronomie a făcut ca multe alte corpuri cereşti să devină vizibile.
- Radioastronomia a lărgit porţiunea din spectrul electromagnetic accesibilă observaţiei.
- Posibilitatea de observare din afara atmosferei, împreună cu apariţia de noi instrumente (ex. telescopul Roentgen) a făcut practic accesibil întregul spectru al undelor eletrocmagnetice.
- Cu ajutorul zborurilor cosmice, cercetarea Sistemului Solar se poate desfăşura „la faţa locului".
- Prin observarea neutrinilor sau prin confirmarea existenţei undelor gravitaţionale, în viitor se poate câştiga un domeniu total nou pentru cercetare.

Limite ale cunoaşterii impuse de natură. Informaţiile transportate de suporturile de informaţie (de exemplu, unde electromagnetice, unde gravitaţionale, neutrini) se pot deplasa cel mult cu viteza luminii. De aceea, o privire aruncată în adâncul Universului este, în acelaşi timp, o privire în trecutul său temporal.

- Lumina venită de la Steaua Polară, aflată la 650 de ani – lumină, informează despre starea sa din urmă cu 650 de ani. Despre o stare mai apropiată nu

putem afla, în mod principial, nimic. Universul observabil în momentul de față a luat naştere probabil în urmă cu 15... 20 x 10^9 ani. Toate informațiile despre evenimente desfăşurate în acest Univers pot proveni de la o depărtare de cel mult 15... 20 x 10^9 ani-lumină. Nu ne pot parveni informații despre ceea ce a fost înainte de naşterea Universului sau despre ceea ce se află în exteriorul său. Oamenii nu pot privi dincolo de începuturile temporale ale Universului.

Orizontul evenimentelor. Prin viteza finită de propagare a luminii şi prin vârsta limitată a Universului, sunt limitate granițele principiale ale cunoaşterii.

METODELE CERCETĂRII ASTRONOMICE

Observarea

Constatare conştientă şi cu un scop precis a existenței obiectelor reale şi a fenomenelor. Pentru astronomie ea este principalul mijloc pentru îmbogățirea cunoştințelor despre obiectele cosmice şi pentru verificarea valabilității afirmațiilor teoretice.

Caracterul conştient şi intenționat al constatării se relevă prin:
- alegerea obiectului;
- studiul fenomenului;
- valorificarea rezultatelor.

În cazul observației astronomice este imposibil ca, prin influență umană, să se schimbe cursul unui anumit proces cosmic sau să se determine repetarea acelui proces. Observatorul nu poate, de asemenea, să influențeze obiectul observat; el rămâne pasiv pe tot parcursul procesului.

■ Cercetarea domeniilor superioare ale coroanei solare

Acestea pot fi observate
- doar în timpul unei eclipse totale de Soare;
- doar dintr-un punct de observare aflat în banda de totalitate;
- doar pe parcursul a câtorva minute;
- doar când cerul este senin.

Aceste condiții trebuie avute în vedere de către observator atunci când realizează planurile observației, în timpul observației şi la valorificarea rezultatelor observației sale.

Întrebări importante ale observației astronomice:
- Din ce direcție vine radiația observată?
- Cât de mare este intensitatea radiației observate?
- Care este compoziția radiației observate?

Experimentul

Acțiune controlată, planificată şi bine calculată asupra unui obiect, ale cărei condiții au fost conştient create şi pot fi modificate în funcție de necesități.

Experimentele sunt repetabile.

În cazul experimentelor, omul acţionează activ asupra obiectelor şi fenomenelor studiate.
În astronomie, experimentele sunt relativ rare.

■ Cercetarea componenţei chimice a unui satelit sau a unei planete (după ce probele de sol ajung pe Pământ sau la locul recoltării, cu ajutorul laboratoarelor automate).
Obiectul studiat poate fi supus, în acest caz, oricând şi pentru o perioadă oricât de lungă:
- diferitelor reacţii chimice;
- diferitelor acţiuni fizice.

Teoria
O mulţime sistematic ordonată de afirmaţii; în ştiinţele naturale, rezultat al prelucrării mentale a rezultatelor observaţiilor şi experimentelor.
Rezultatele sunt explicate pentru *verificarea ipotezelor*, pentru a crea modele teoretice precum şi pentru *prognoza fenomenelor*.

Modelul
În astronomie, prin model se înţelege o reprezentare abstractă – adeseori formulată matematic – a unei clase de obiecte astronomice care, având în vedere una sau mai multe proprietăţi, sunt similare.
Multe proprietăţi individuale ale obiectelor sunt neglijate, în timp ce altele se adaugă.

■ Un model stelar este un sistem de ecuaţii care descrie starea fizică a unei stele, inclusiv condiţiile marginale ce sunt determinate de respectiva stea.

Calculul modelului. Crearea unui model (matematic) pretinde, din cauza complicatelor operaţii matematice, un număr considerabil de calcule.

■ O teorie a evoluţiei stelelor a apărut abia în a doua jumătate a secolului al XX-lea după ce, prin folosirea computerului, calculele amănunţite şi complicate s-au putut închega relativ rapid într-un model matematic al evoluţiei stelare. Baza pentru această teorie a fost pusă între anii 1930 şi 1940.

INSTRUMENTELE OBSERVAŢIEI ASTRONOMICE

Telescopul optic

Instrumente optice cu ajutorul cărora :
- se recepţionează mai multă lumină de la obiectele cosmice decât îi este posibil ochiului uman să o facă;
- se pot realiza imagini mărite ale obiectelor cosmice.

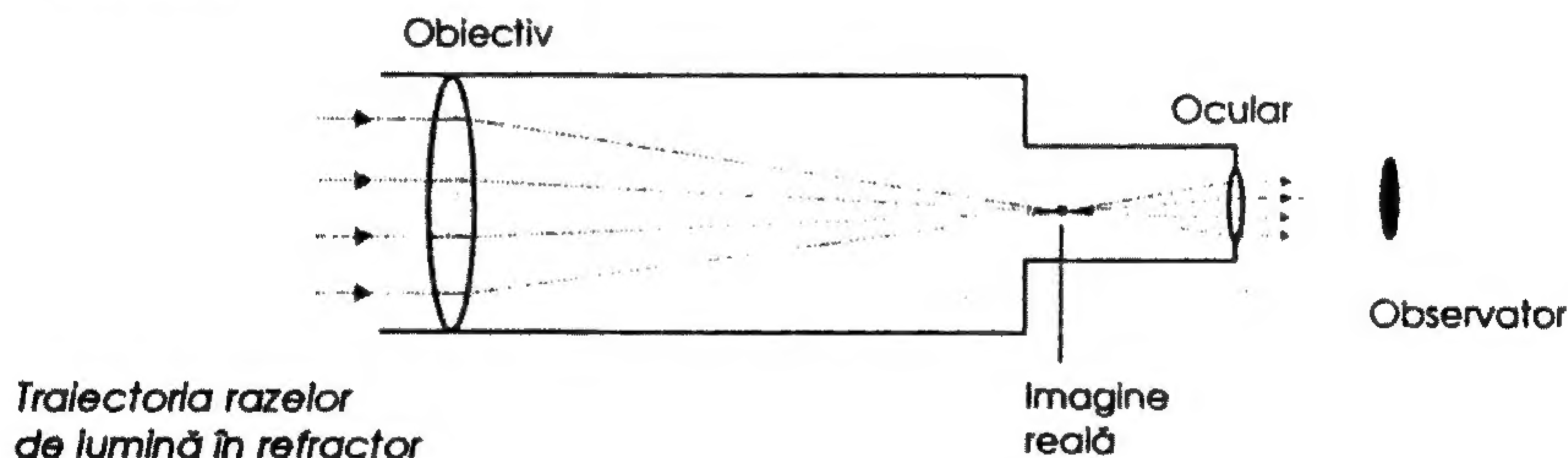
Lumina venită de la obiectul observat cade pe un corp optic numit obiectiv, care produce în planul său focal o imagine reală, inversată şi micşorată a obiectului.
Această imagine:
- poate fi privită la observaţia *vizuală* printr-un ansamblu optic de mărire (ocular).

Avantaj: o imagine concretă, imediat disponibilă.
Dezavantaj: acurateţe redusă, inexistenţa unei modalităţi de stocare.
- poate fi proiectată, la o observaţie fotografică, pe un strat fotosensibil (placă foto, filtru).
Avantaj: imagine concretă, stocare eficientă.
Dezavantaj: acurateţe scăzută.
- poate fi proiectată pe un receptor fotoelectric (amplificator de imagine, element de stocare a imaginii cu semiconductor).
Avantaj: imagine concretă, o foarte mare acurateţe, stocare eficientă în formă digitală.
Dezavantaj: rezoluţie mai mică decât materialul fotosensibil.

Prin trecerea de la observaţia vizuală la cea fotografică sau fotoelectrică, capacitatea telescopului de a face accesibile observaţiei obiecte din ce în ce mai depărtate sau mai slab luminate s-a mărit considerabil. Obiectivul şi ocularul sunt în aşa fel montate într-un tub încât, pentru a obţine cea mai bună imagine, distanţa dintre ele se poate modifica.

Refractorul (luneta cu lentilă)

Obiectivul refractorului este o lentilă convergentă, respectiv o combinaţie de lentile care se comportă ca o lentilă convergentă. Prin montarea împreună a mai multor lentile într-un obiectiv, acţiunea obiectivului de a capta raza de lumină poate fi adaptată scopului pentru care este folosit refractorul.



Traiectoria razelor de lumină în refractor

Tipul de instrument	Observaţie	Cea mai bună imagine
Refractor vizual	vizuală	în domeniul spectral verde
Refractor fotografic	fotografică	în domeniul spectral albastru

Din cauza dificultăţilor tehnice de producere a lentilelor optice de mari dimensiuni, ca şi datorită dificultăţii realizării unui sistem de fixare a lor în obiectivul telescopului, refractoarele sunt construite cu o deschidere a obiectivului de maxim 1,02 m.

- Cel mai mare refractor vizual se află la Yerkes Observatorium din Williams Bay, Wisconsin, S.U.A. (deschidere a obiectivului 1,02 m).

- Cel mai mare refractor fotografic se află în dotarea Institutului Astrofizic din Postdam (deschiderea obiectivului 0,8 m; lungimea tubului ≈ distanța focală a obiectivului = = 12 m).

- Luneta este un mic refractor vizual, în care traiectoria de lumină este de mai multe ori modificată cu ajutorul prismelor. Prin aceasta, lunetele au o lungime foarte mică și produc, în comparație cu telescopul astronomic, imagini verticale. Ele sunt construite mai ales sub formă de binocluri.

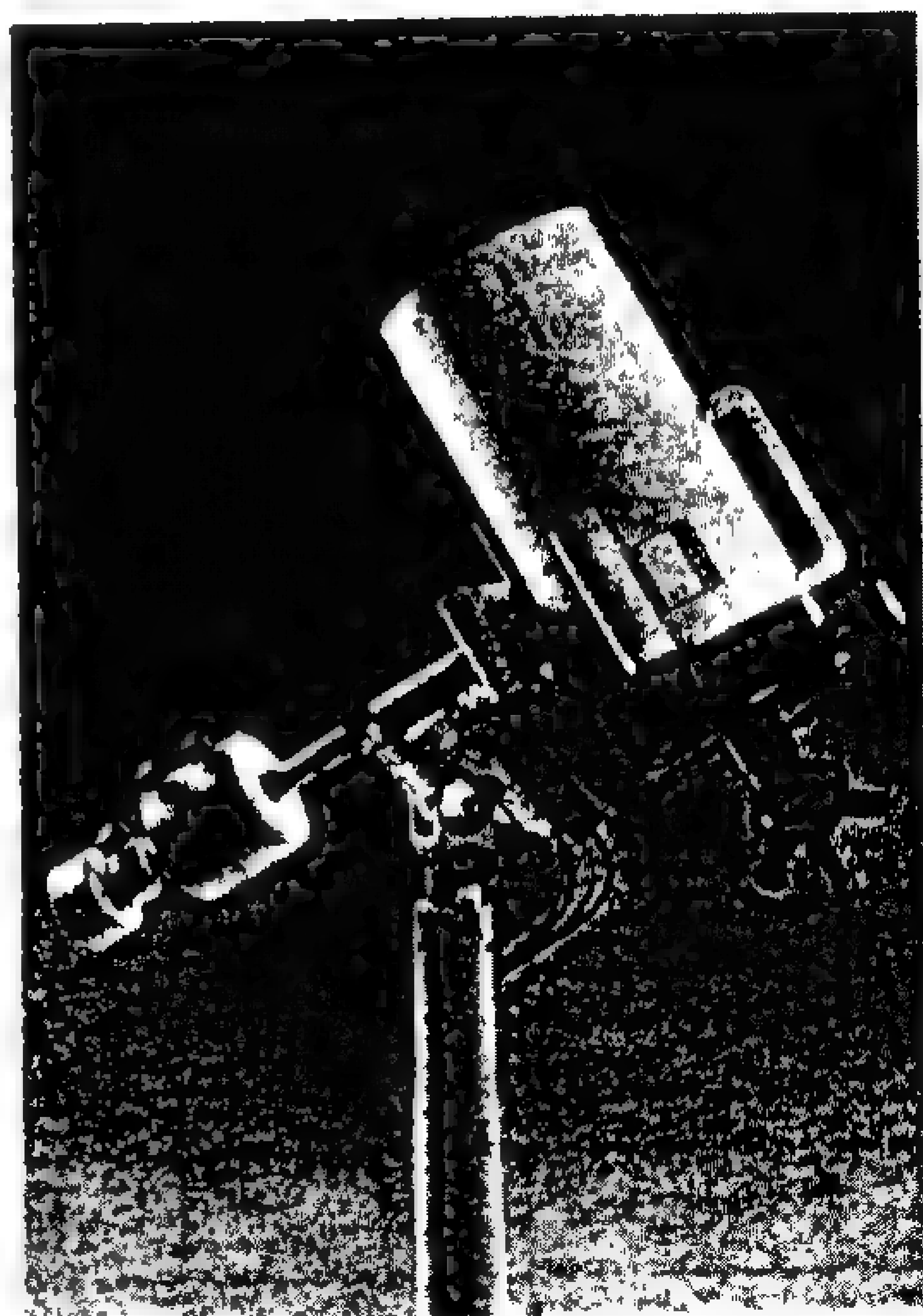


Refractorul

Reflectorul (telescopul cu oglindă)

La reflector, obiectivul este o oglindă concavă (calotă sferică sau paraboloid). Reflectoarele pot avea dimensiuni mult mai mari decât refractoarele.

- Cele mai mari reflectoare construite dintr-un singur bloc de sticlă se află la Observatorul Astrofizic Special Selentschukskaja, din Caucaz, Federația Rusă (diametrul obiectivului 6 m, distanța focală 24 m) și la Hale Observatorium, de pe Muntele Palomar, S.U.A. (diametrul obiectivului 5,08 m).



Reflectorul

Reflectoarele sunt construite în diverse variante.
Ele diferă și prin modul cum este dirijată lumina reflectată de oglinda principală în afara tubului (↗ p. 15).

- La *telescopul Schmidt* (oglinda Schmidt), care se distinge printr-o înaltă calitate a imaginii asupra unui larg câmp de observație, razele de lumină străbat, înainte de reflexia pe oglinda principală, o placă de corecție cu formă complicată. Telescopul Schmidt este indicat pentru observații fotografice.

■ Cel mai mare telescop Schmidt din emisfera nordică se află în dotarea observatorului astronomic din Tautenburg (Turingia), lângă oraşul Jena (diametrul oglinzii principale 2 m, diametrul plăcii de corecţie 1,34 m, distanţa focală 4 m).

Refractor	Reflector
Lentilele obiectivului trebuie prelucrate pe ambele părţi (şlefuite şi lustruite).	Oglinda nu trebuie prelucrată decât pe o parte.
Lentilele obiectivului nu trebuie să fie tensionate şi nu trebuie să prezinte striaţii.	Oglinda trebuie doar să aibă o suprafaţă optică ireproşabilă.
Lentilele obiectivului nu pot fi prinse de tubulatură decât pe margine; de aceea, ele se deformează uşor.	Spatele oglinzii poate fi sprijinit pe toată suprafaţa în montura oglinzii, astfel încât deformările sunt foarte rare.

Telescopul lui Newton	
Cu ajutorul unei oglinzi auxiliare, lumina este dirijată în lateral, în afara tubului.	Oglindă principală; Oglindă auxiliară; Ocular; Imagine intermediară reală; Observator
Telescopul lui Cassegrain	
Cu ajutorul unei oglinzi hiperbolice auxiliare, lumina este dirijată prin oglinda principală, care este perforată, în afara tubului.	Oglindă principală; Ocular; Oglindă auxiliară; Imagine intermediară reală; Observator
Telescopul Schmidt	
Lumina nu este dirijată în afara tubului.	Oglindă principală; Placă de corecţie; Placă fotografică curbată

Telescopul cu oglinzi multiple. Alăturarea mai multor oglinzi principale cu focar comun într-un sistem optic dă posibilitatea de a se realiza, într-un mod fezabil din punct de vedere economic, o mare suprafață de recepție. Oglinzile individuale și oglinzile auxiliare corespondente sunt comandate de computer; poziția lor, unele în raport cu altele, este controlată prin raze laser.

- Primul telescop cu oglinzi multiple se află pe Muntele Hopkins (Arizona, S.U.A.). Șase oglinzi a câte 1,8 m diametru formează un ansamblu cu aceeași putere ca a unui telescop cu o oglindă de 4,8 m diametru.

↗ Noi tehnici optice de observație, p. 177.

Coronograful. Coroana și protuberanțele solare pot fi observate și fotografiate cu un telescop construit special, denumit coronograf. Cel mai important element constructiv al său este diafragma, care, interpunându-se în calea razelor de lumină, produce o „eclipsă artificială" de Soare.

Mărirea. Unghiul vizual al unui obiect este, la observarea cu un telescop, mai mare decât la observarea cu ochiul liber.

Mărirea $N = \frac{f_1}{f_2}$	f_1 = distanța focală a obiectivului f_2 = distanța focală a ocularului

- Observatoarele școlare: f_1 = 840 mm

f_2	N
40 mm	21
25 mm	34
16 mm	53
10 mm	84

La observația fotografică, un obiect este redat în planul focal cu atât mai mare, cu cât este mai mare distanța focală a obiectivului.

Telescop	f_1	Diametrul imaginii unui obiect (mărimea unghiului vizual de 1°)
Observator școlar	840 mm	1,47 cm
Telescop cu oglindă de 2 m diametru	4 m	7 cm
Telescop cu oglindă de 6 m diametru	24 m	42 cm

Rezoluția

Cea mai mică distanță unghiulară dintre două surse punctiforme de lumină care, cu ajutorul unui telescop, pot fi încă percepute separat. Este dependentă de diametrul obiectivului și de lungimea de undă a radiației observate.

■

[illegible]	Diametrul obiectivului	Rezoluția	
		teoretică	practică
Telescop școlar (didactic)	63 mm	1,8″	2″
Telescop cu oglindă cu diametrul de 2 m	2 m	0,06″	0,5″
Telescop cu oglindă cu diametrul de 6 m	6 m	0,02″	0,5″

■ Ochiul liber are o rezoluție teoretică de 1′. În practică, printre altele din cauza impurității aerului, nu poate fi atinsă rezoluția teoretică.

Intensitatea luminii. La observarea stelelor şi a altor surse de lumină punctiforme, intensitatea luminii este dependentă de diametrul obiectivului, iar la observarea obiectelor cu o suprafață mare (comete, nebuloase), dimpotrivă, aceasta este dependentă de deschiderea relativă $D : f_1$ (D = diametrul obiectivului; f_1 = distanța focală a obiectivului).

■ *Magnitudinea – limită* a obiectelor observate cu telescoape de diferite mărimi

[illegible]	Magnitudinea-limită		Sensibilitatea în comparație cu ochiul liber
	vizuală	fotografică (iluminare [illegible] min.)	
Ochiul liber (6...8 mm)	6^m	---	1
5 cm	$10,3^m$	13^m	600
10 cm	$11,7^m$	$14,5^m$	2 500
20 cm	13^m	16^m	10 000
40 cm	$14,1^m$	$17,5^m$	40 000
100 cm	---	$19,5^m$	250 000
500 cm	---	23^m	6 300 000

↗ Magnitudinea, p. 107.

Montarea unui telescop (partea compusă din suport şi un sistem mobil de axe)

Montarea trebuie să asigure sistemului optic:

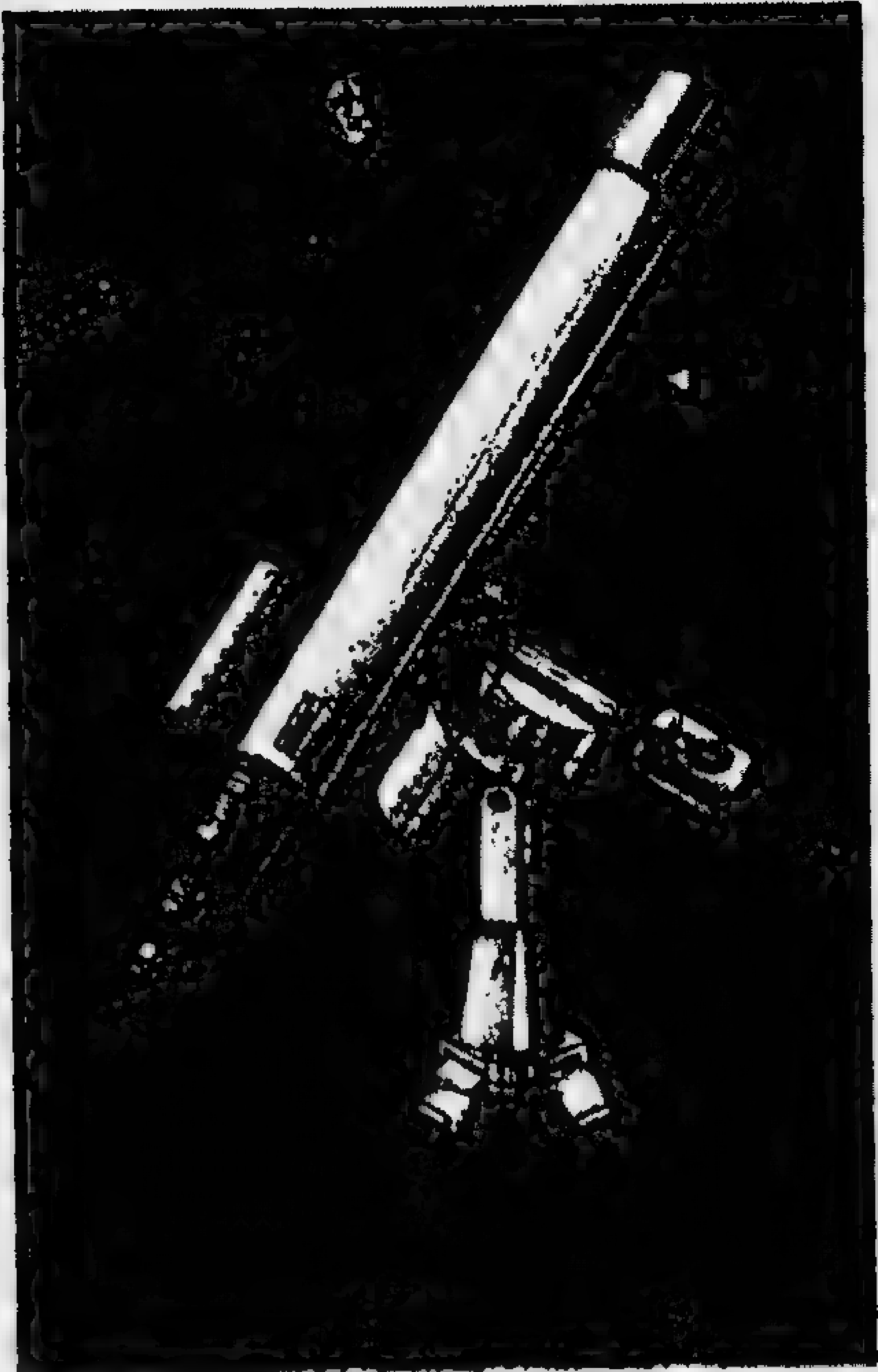
– protecția față de vibrații în oricare dintre direcțiile alese pentru observație;

– în acelaşi timp, sistemul optic trebuie să poată urmări mişcările stelelor.

La telescoapele mici, suportul este adeseori un stativ transportabil, pe când la cele mari se prezintă sub forma unei coloane imobile.

Sistemul de axe prezintă de regulă două axe care pot fi montate ca *sisteme azimutale* sau ca *sisteme paralactice* (ecuatoriale).





Montarea telescopului: a) Montare azimutală b) *Montare paralactică*

axa fixă	axa verticală	axa orară
îndreptat spre	zenit	polul nord ceresc
prin rotația în jurul axei fixe se schimbă	azimutul	unghiul orar
axa mobilă	axa basculantă	axa declinației
îndreptată spre un punct al	orizontului	ecuatorului ceresc
la mişcarea în jurul axei mobile se schimbă	înălțimea	declinația

avantaje	construcţie simplă	transport simplu prin mişcare uniformă în jurul unei singure axe (axa orară)
dezavantaje	transport complicat prin mişcarea neuniformă în jurul celor două axe, de aici rotaţii ale câmpului vizual	construcţie complicată, încărcarea axelor şi lagărelor dependente de poziţie
utilizare	la telescoapele didactice şi de amatori, la marile telescoape de cercetare (cu control computerizat)	la cele mai multe telescoape mijlocii şi mari

↗ Polii cereşti, p. 26;
↗ Ecuatorul ceresc, p. 26;
↗ Mişcarea zilnică a stelelor, p. 29;
↗ Coordonate orizontale, p. 41;
↗ Coordonate ecuatoriale, p. 43.

Coelostatul. În unele cazuri (ex. observaţii asupra Soarelui), sistemul telescopic este fix. Radiaţia ce trebuie studiată este condusă în interior de un sistem de oglinzi plasate înaintea tubului.

■ Telescoapele–turn pentru observarea Soarelui sunt de cele mai multe ori dotate cu un tub vertical, în care lumina este reflectată de sus în jos cu ajutorul unui coelostat.

Aparatele auxiliare telescoapelor optice

Aparate ce sunt interpuse în drumul razelor, înainte, în interiorul sau după un telescop optic şi care favorizează o cercetare mai intensă şi mai precisă a luminii.

Micrometrul	Aparat pentru măsurarea exactă a distanţei unghiulare şi a unghiului de poziţie a două stele. Pentru observaţia vizuală este combinat de cele mai multe ori cu ocularul unui telescop.
Fotometrul	Aparat pentru măsurarea strălucirii aparente a unui obiect. La lunete se folosesc aproape în exclusivitate fotometre fotoelectrice. Aceste aparate lucrează pe baza efectului fotoelectric şi produc un curent electric, a cărui intensitate depinde de intensitatea radiaţiei receptate. Precizia maximă: mai bună de 0,01 clase de mărime.

Spectrograful	Aparat pentru descompunerea radiației într-un spectru și pentru redarea fotografică sau fotoelectrică a acestui spectru. Elementul care descompune lumina este de cele mai multe ori o rețea de difracție.
Prisma obiectivului	Prisma obiectivului Obiectiv Placă fotografică Prismă triunghiulară de sticlă, cu un unghi de refracție foarte mic, așezată în fața obiectivului unui telescop optic (imaginea de sus). La observația fotografică, pe placa fotografică iau naștere, în locul imaginilor circulare ale stelelor, mici spectre care, spre exemplu, fac posibilă ordonarea stelelor în funcție de anumite clase spectrale (imaginea de jos).
Amplificator de imagine	Aparat care transformă imaginea optică prin efect fotoelectric într-o imagine optoelectrică cu o luminozitate de până la de100 de ori mai mare; această imagine poate fi înregistrată pe cale fotografică.

Aparate de decodificare

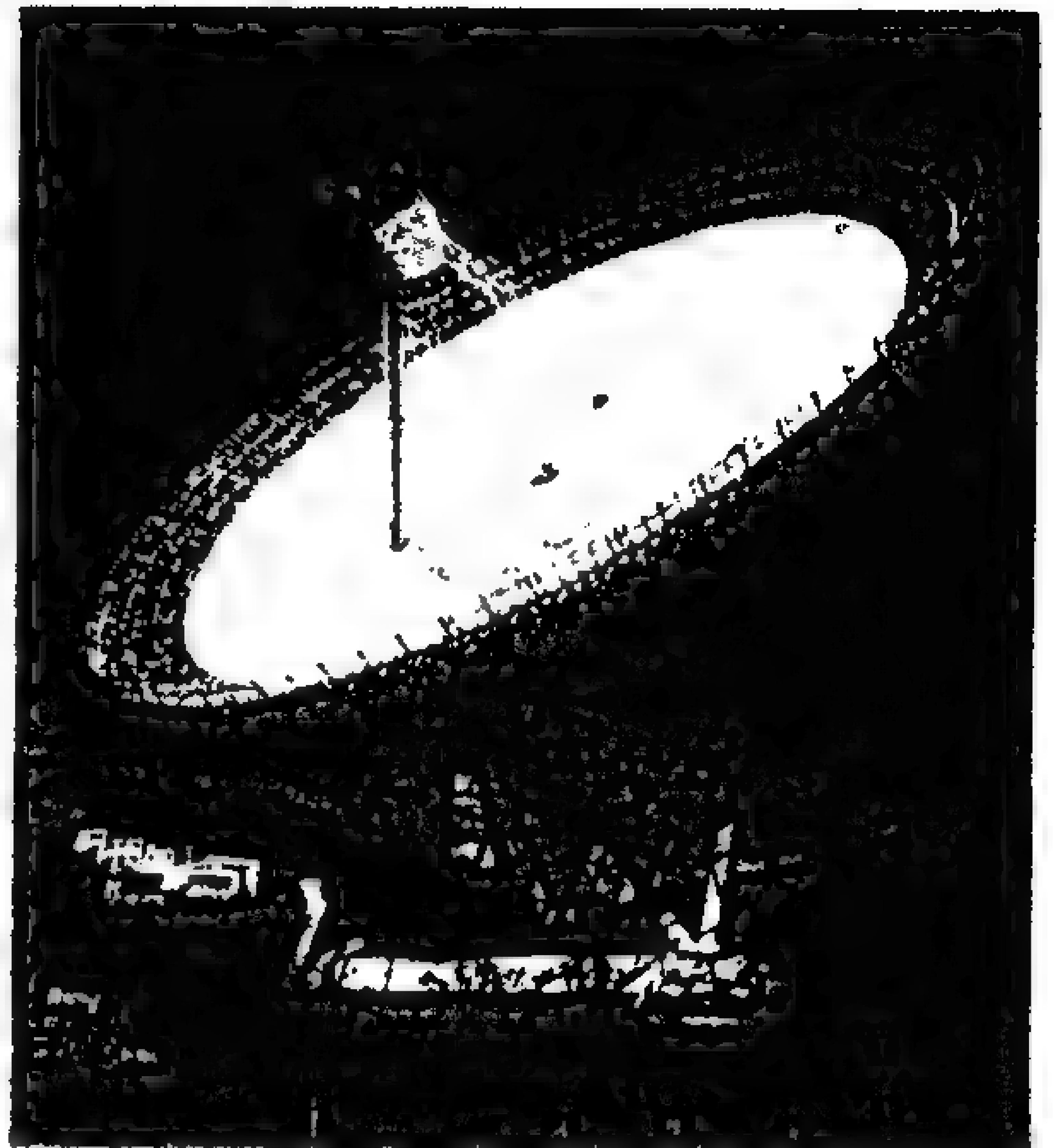
Aparate utilizate pentru comprimarea și decodificarea rezultatelor observațiilor. De cele mai multe ori, informația transmisă prin imagini este transformată în valori numerice. Aparatele moderne de decodificare permit conectarea la aparatură de prelucrare electronică a datelor și oferă datele într-o formă corespunzătoare (pe bandă magnetică, pe dischetă etc.).

Microfotometrul	Aparat pentru măsurarea înnegririi de pe placa fotografică, de cele mai multe ori construit ca fotometru fotoelectric.	Microfotometrul și aparatul de măsurare a coordonatelor pot alcătui un singur aparat.
Aparatul de măsurare a coordonatelor	Aparat pentru măsurarea coordonatelor stelelor pe înregistrările fotografice ale bolții cerești. Elementele constitutive esențiale sunt două rigle pentru măsurători de precizie, dispuse perpendicular una față de cealaltă, care, prin folosirea unui microscop de măsurare, permit determinarea exactă a poziției stelelor pe o înregistrare, cu o precizie de până la 0,0002 mm.	

Comparatorul 	Aparat cu care pot fi comparate înregistrări fotografice ale aceleiaşi porţiuni din bolta cerească, luate la diferite momente de timp. Prin examinarea stereoscopică sau alternativă a plăcilor fotografice pot fi descoperite atât obiecte care au pe înregistrări diferite luminozităţi sau diferite poziţii, cât şi obiecte care s-au adăugat pe imaginile ulterioare.

Radiotelescoapele

Instrumente pentru captarea din spaţiu a undelor radio – unde electromagnetice hertziene.
Atmosfera terestră ecranează undele cu o lungime sub aprox. 1 mm şi de peste 20 m.
Un radiotelescop este alcătuit dintr-o antenă (reflector şi dipol, sistem–dipol), un amplificator şi un aparat de înregistrare.



Radiotelescopul de 100 m din Effelsberg

Reflectoarele parabolice. Un paraboloid construit din metal sau din plasă metalică concentrează radiaţia captată, întocmai ca o oglindă concavă, pe o antenă (dipol), aflată în focarul său. Datorită lungimilor de undă foarte mari în comparaţie cu cea a luminii, rezoluţia este foarte redusă, chiar şi la diametre mari ale reflectorului.

- Cel mai mare reflector mobil se găseşte la Effelsberg /Eifel (Renania de Nord – Westfalia). Diametrul său măsoară 100 m, rezoluţia sa este de 8′′ (pentru $\lambda = 20$ cm).
- Cel mai mare reflector static cu suprafaţă continuă are un diametru de 305 m. El se găseşte la Arecibo (Puerto Rico).

↗ Telescopul optic, p. 12; ↗ Reflectorul, p. 14.

Sisteme de antene individuale. Prin conectarea electronică a mai multor antene individuale, puterea de rezoluţie a instalaţiilor de observare radioastronomică se îmbunătăţeşte considerabil. Aceste sisteme folosesc fenomenele de interferenţă ale undelor radio captate. Asemenea instalaţii poartă numele de *interferometre radio.*

- Prin cuplarea computerizată a unor radiotelescoape aflate la o distanţă de mai multe mii de km unul de altul, devin posibile observaţii cu rezoluţii de până la 0,0002′′.

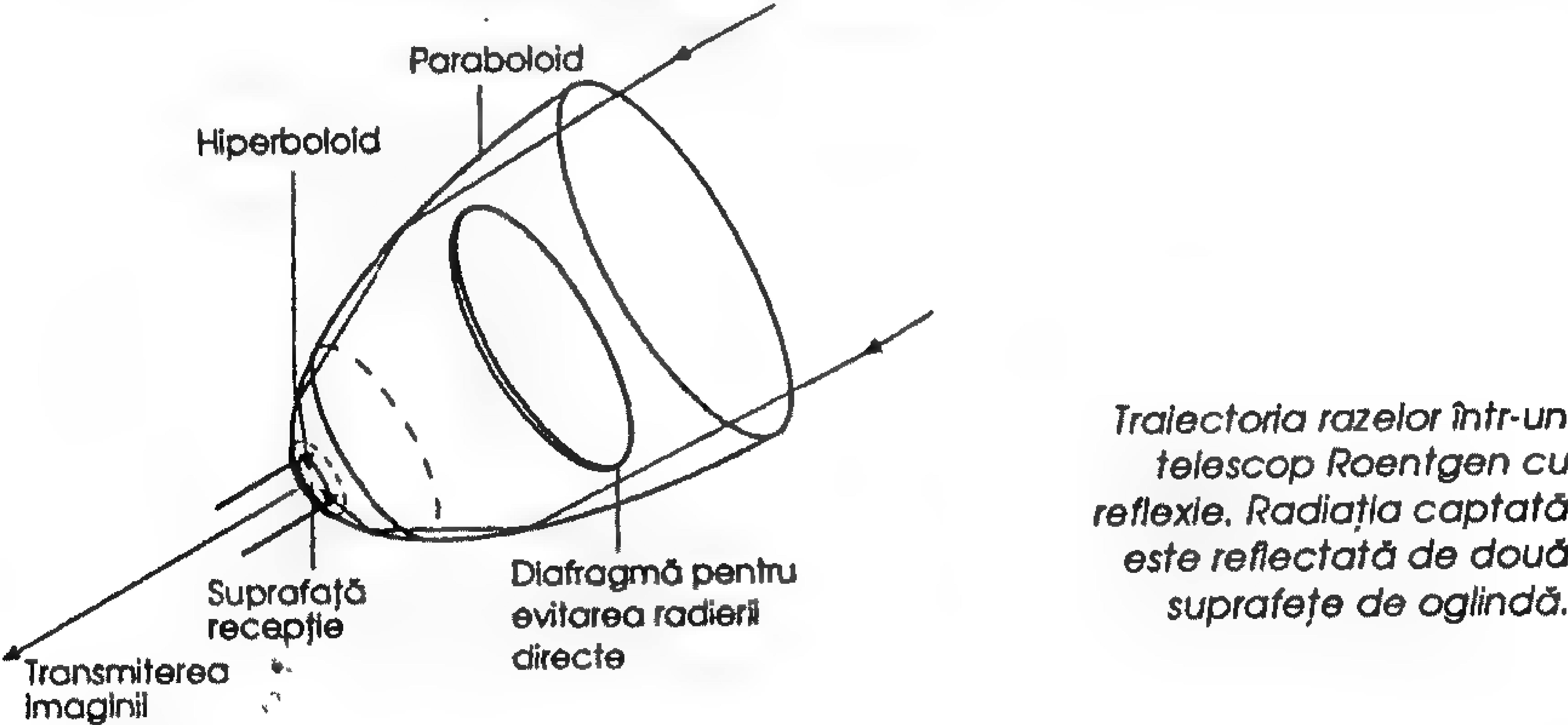
↗ Radioastronomia, p. 178.

Telescopul în infraroşu

Instrument de observare folosit pentru cercetarea radiaţiei infraroşii (radiaţie electromagnetică cu lungimea de undă între 0,001 mm şi 1 mm) emise de corpurile cereşti. Atmosfera terestră este permeabilă pentru astfel de radiaţii doar în domenii înguste de lungimi de undă, de aceea telescoapele în infraroşu sunt instalate pe munţi foarte înalţi, în avioane, în baloane stratosferice sau pe sateliţi artificiali şi staţii orbitale. Radiaţia este pusă în evidenţă cu ajutorul fotoelementelor sau elementelor fotorezistente răcite până la temperaturi foarte coborâte; răcirea (până la câteva grade K) este necesară pentru a creşte sensibilitatea detectorilor şi pentru a elimina perturbaţiile produse de propagarea căldurii purtătorilor de sarcină în componentele de recepţie a radiaţiei.

Telescopul Roentgen

Instrument de observare folosit pentru cercetarea radiaţiei Roentgen (radiaţie electromagnetică cu lungimea de undă între 0,01 nm şi 10 nm), emise de obiectele cosmice. Întrucât radiaţia Roentgen nu poate traversa atmosfera terestră, telescoapele Roentgen trebuie instalate pe sateliţii artificiali ai Pământului şi pe staţiile orbitale.



Traiectoria razelor într-un telescop Roentgen cu reflexie. Radiaţia captată este reflectată de două suprafeţe de oglindă.

Telescop Roentgen fără reflexie	Aparat care înregistrează direcţia şi intensitatea radiaţiei Roentgen. Funcţionează după principiul detectorului sau prezintă elemente constructive semiconducătoare pe post de captatori de radiaţie.
Telescop Roentgen cu reflexie	Telescop dotat cu oglinzi speciale, care proiectează o imagine a sursei de radiaţie Roentgen asupra unei suprafeţe de captare. În continuare, imaginea este de regulă explorată şi prelucrată electronic, rezoluţia atingând circa 2,5''.

Telescopul spaţial

Telescop optic sau în infraroşu instalat pe navele spaţiale, staţii orbitale, sonde spaţiale sau sateliţi artificiali, în afara atmosferei.

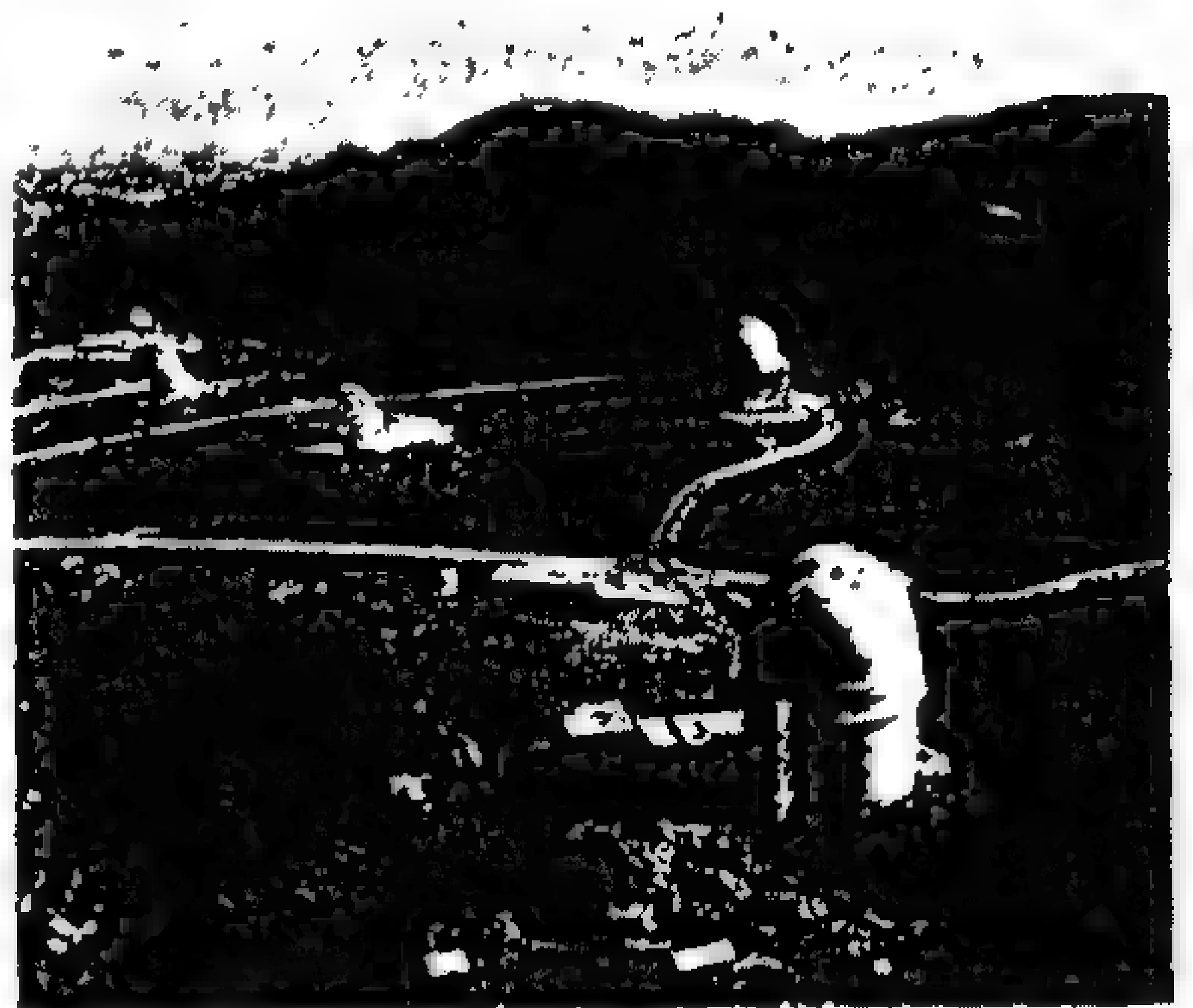
Avantaje	Traversarea atmosferei terestre provoacă filtrarea radiației şi deprecierea imaginii. Cu un telescop cu o deschidere de 2,4 m se poate atinge o rezoluție de 0,05''; obiectele până la a 29-a clasă de mărime devin observabile.
Dezavantaje	Costuri ridicate, reglare automată dificilă pe obiectele de observat.

- Primul telescop spațial este Hubble Space Telescope, pus în funcțiune în anul 1990 şi având un diametru al oglinzii principale de 2,4 m.

OBSERVATOARE ASTRONOMICE

Observatoare de cercetare astronomică

Institute de observații astronomice care servesc cercetării astronomice. În general, complexe de clădiri cu construcții sub formă de cupolă, în care sunt adăpostite telescoapele. Observatoarele de cercetare astronomică aparțin adesea unei academii sau unei universități. Ele sunt amplasate, de regulă, la mari depărtări de oraşe şi de zonele industriale.



Observatorul astronomic din Calar Alto

- Observatoare germane de cercetare astronomică (selecție)

Berlin	Institutul pentru Astronomie şi Astrofizică al Universității Tehnice
Bonn	Institutul Max Planck pentru Astronomie
Göttingen	Observatorul Universității
Heidelberg	Observatorul landului
Jena	Institutul de Astrofizică şi Observatorul Universității
Potsdam	Institutul de Astrofizică

- Observatoare româneşti de cercetare astronomică

Bucureşti	Observatorul Institutului Astronomic al Academiei Române
Bucureşti	Observatorul Militar
Cluj	Observatorul Institutului Astronomic
Iaşi	Observatorul Astronomic al Universității Al. Ioan Cuza
Timişoara	Observatorul Institutului Astronomic

Observatoare populare

Instalații astronomice care au ca scop răspândirea cunoştințelor astronomice şi susținerea observațiilor astronomice ale amatorilor. În multe observatoare populare, pe lângă popularizarea astronomiei se realizează şi activități de cercetare.

- Observatoare populare germane (selecție)

Aachen	Observatorul popular
Berlin	Observatorul Archenhold
Drebach	Observatorul de vacanță
Duisburg	Observatorul Rudolf Römer
Hannover	Observatorul popular
Hof	Observatorul popular
Jena	Observatorul Urania
Schkeuditz	Centrul astronomic
Sohland (Spree)	Observatorul popular „Bruno H. Bürgel"

- În România, există în București Observatorul Popular „Amiral Vasile Urseanu", iar în orașele Bacău, Baia Mare, Suceava, Constanța – complexe astronomice cu planetarii.

Observatoare astronomice școlare

Observatoare pentru învățământul astronomic și pentru activitatea extrașcolară a elevilor în domeniul astronomiei. Marile observatoare școlare sunt adesea în legătură cu un planetariu.

- Observatoare astronomice școlare din Germania (selecție)

Bautzen	Observatorul „Johannes Franz"
Crimmitschau	Observatorul școlar
Eilenburg	Observatorul școlar și popular „Iuri Gagarin"
Görlitz	Observatorul Scultetus
Herford	Observatorul gimnaziului Friedrich

- În România există Observatorul Astronomic al Palatului Național al Copiilor, din București.



Observatorul astronomic „Johannes Franz" din Bautzen

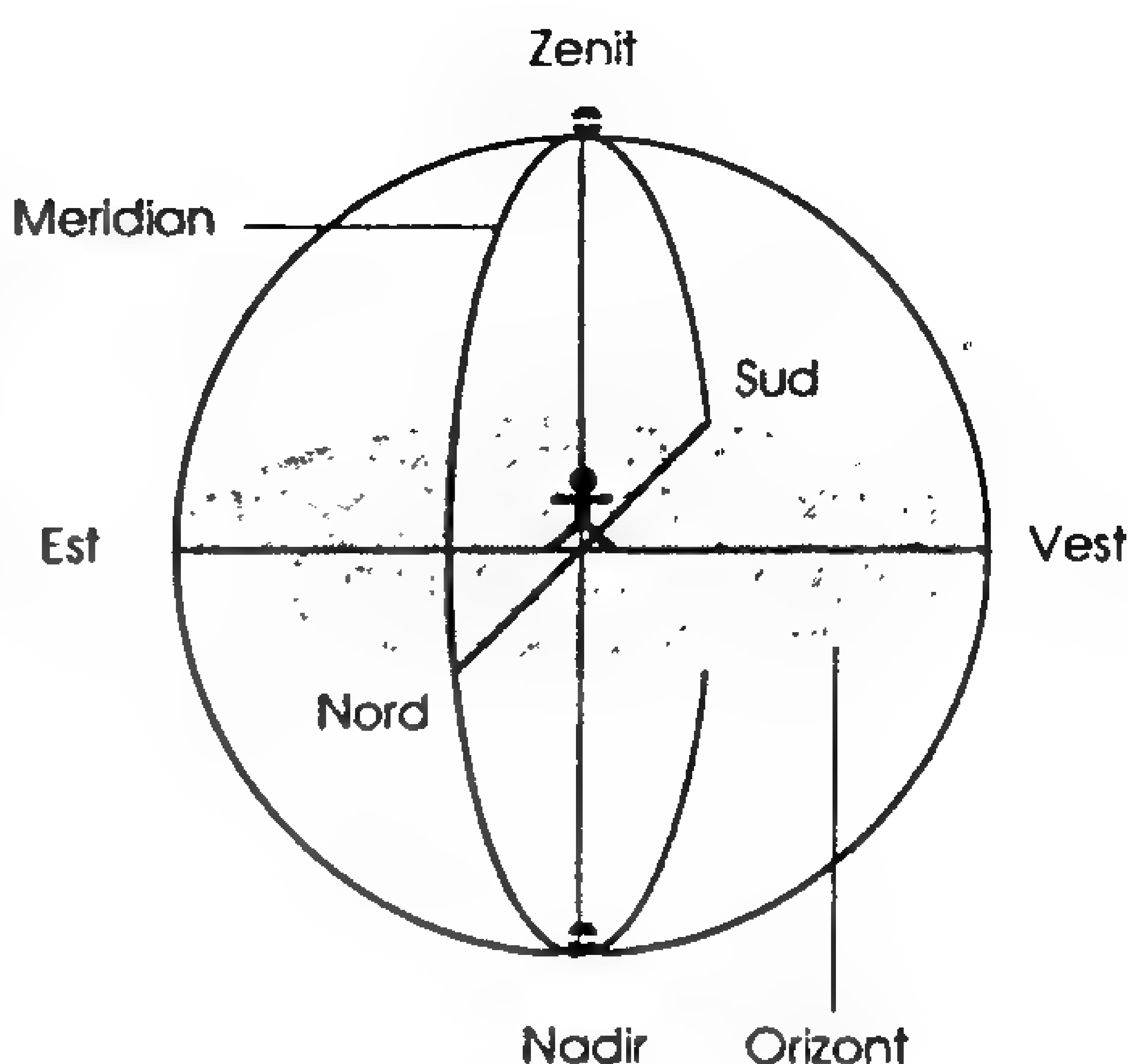
Orientarea pe bolta cerească

SFERA CEREASCĂ

Sfera cerească

Sfera aparentă care îl înconjoară din toate direcţiile pe observator, cu o rază infinit de mare şi pe care se văd stelele. Ea este o reprezentare ajutătoare şi foloseşte pentru descrierea poziţiei vizibile a stelelor dintr-un anumit punct de observaţie.

De multe ori sfera cerească este astfel reprezentată încât observatorul se găseşte într-un punct fictiv, situat în afara ei.



Sfera cerească, orizontul şi meridianul Zenit

Orizontul

Linia de despărţire dintre partea vizibilă a sferei cereşti şi cea invizibilă (de dedesubt) pentru un observator situat într-un anumit punct de observaţie. Planul orizontului este planul care conţine punctul de observaţie şi pe care firul de plumb stă perpendicular. Linia orizontului ia naştere prin intersecţia planului orizontului cu sfera cerească.

Orizontul aparent. Linie imaginară a orizontului, independentă de limitarea privirii datorată reliefului terestru, aflată la înălţimea ochiului observatorului.

Orizontul natural. Linia vizibilă situată la demarcaţia dintre sfera cerească şi munţii, copacii, construcţiile etc. aflate în preajma observatorului. Orizontul natural are un aspect foarte neregulat.

Nadirul

Punctul de pe emisfera invizibilă a sferei cereşti, situat în plan vertical, sub observator.

Zenitul

Punctul de pe sfera cerească situat în plan vertical deasupra observatorului. Zenitul este punctul de intersecţie dintre linia care conţine firul cu plumb şi sfera cerească.

Meridianul

Pe Pământ, fiecare semicerc care trece prin ambii poli şi care intersectează perpendicular ecuatorul.

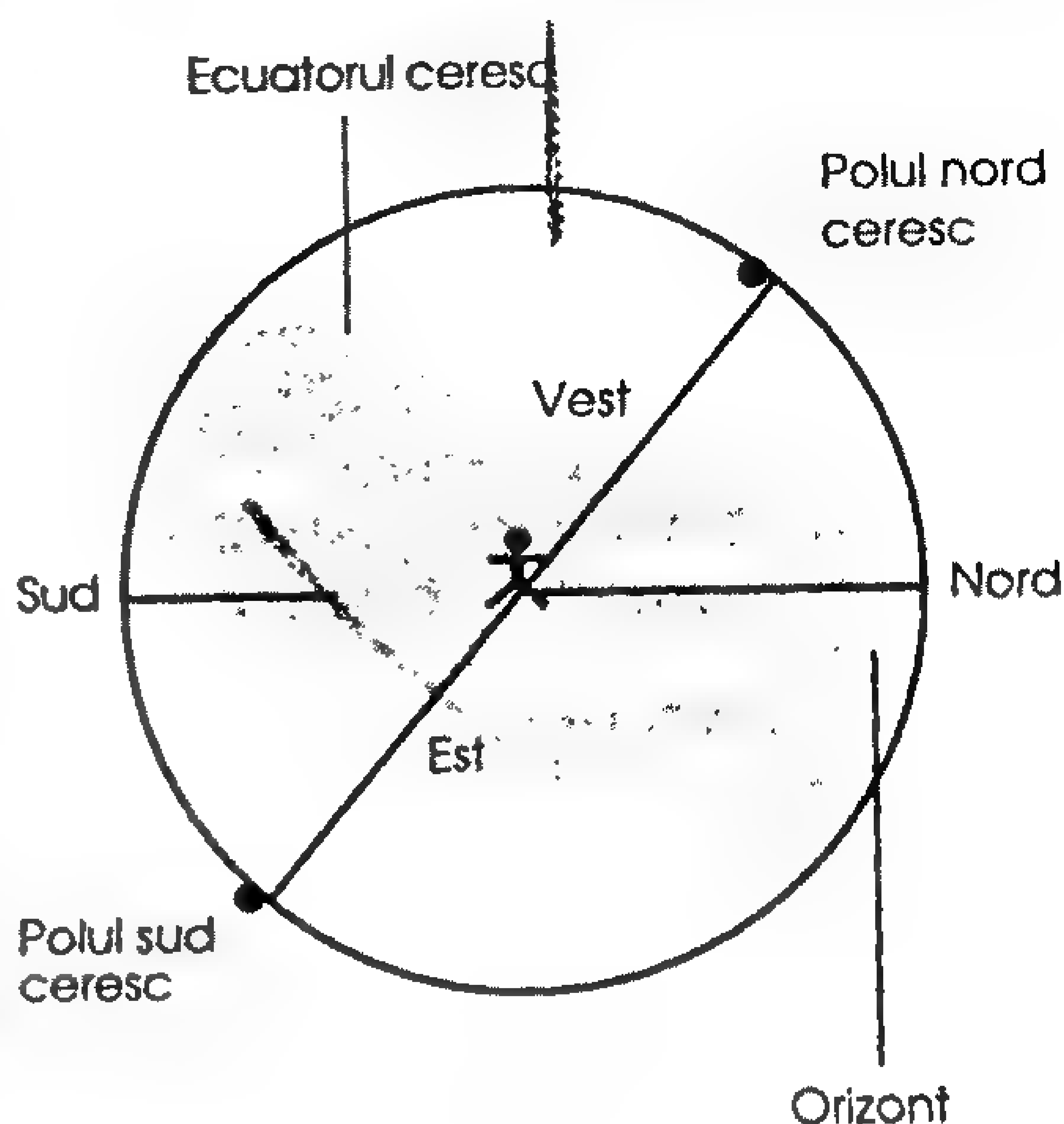
Pe sfera cerească, marele cerc ce trece prin punctul nord, zenit şi punctul sud. El împarte emisfera cerească într-o jumătate estică şi una vestică.

↗ Culminaţia, p. 31.

Polii cereşti

Două puncte aflate pe sfera cerească, care rămân nemişcate în timpul mişcării aparente zilnice a stelelor. Polul nord ceresc, situat în jumătatea nordică a sferei cereşti, se află în constelaţia Ursa Mică; principala stea, Steaua Polară, se află la o depărtare de numai 1° de pol. Polul sud ceresc nu este vizibil din Europa; el se află în constelaţia Octant.

Dreapta imaginară: polul nord ceresc – observator – polul sud ceresc poartă numele de *axa lumii*. Ea este axa de rotaţie a mişcării zilnice aparente a stelelor.



Sfera cerească, orizontul, ecuatorul ceresc şi axa lumii

Ecuatorul ceresc

Mare cerc pe sfera cerească, al cărui plan este perpendicular pe axa lumii. El împarte sfera cerească într-o jumătate nordică şi o jumătate sudică. Pentru un observator din emisfera nordică a Pământului, porţiunea din ecuatorul ceresc aflată deasupra orizontului este un semicerc înclinat care trece prin punctele de est şi de vest ale orizontului şi înregistrează cea mai mare înălţime în sud, unde intersectează meridianul (înălţimea h a punctului de intersecţie dintre ecuatorul ceresc şi meridian poate fi calculată din latitudinea geografică φ a locului din care se face observaţia; $h = 90^0 - \varphi$). Datorită înclinaţiei ecuatorului ceresc faţă de orizont, observatorii din emisfera nordică a Pământului pot vedea şi părţi din emisfera cerească sudică.

Denumirea stelelor

Numele stelelor mai luminoase provin, în mare parte, din spaţiul cultural arab, grec sau roman.

În literatura ştiinţifică, stelele, de cele mai multe ori, nu sunt desemnate cu numele istoric, ci cu o literă (greacă sau latină) sau un număr de catalog şi cu prescurtarea genitivului numelui latin al constelaţiei.

Stele și constelații	Originea denumirii	Semnificația	Indicativ științific
Betelgeuse (Orion)	yad al-gaûza (arab)	mâna lui Orion	α Ori
Procyon (Câinele mic)	procyon (grec.)	înainte de câine	α CMi
Atair (Vulturul)	al-tair (arab)	vultur ce se înalță în zbor	α Aql
Antares (Scorpion)	ant-ares (grec.)	contra – Marte	α Sco
Capella (Vizitiul)	capella (lat.)	țap	α Aur

Constelațiile

Alăturare arbitrară de stele pe sfera cerească în poligoane sau linii, desemnate cu nume provenite din mitologie, cu deosebire din culturile greacă sau babiloniană, sau cu nume fantastice. Liniile ce unesc stelele unei constelații urmează în general tradițiile istorice. În știință, constelațiile sau liniile de unire sunt definite ca domenii strict delimitate. În total, pe bolta cerească există 88 de constelații.



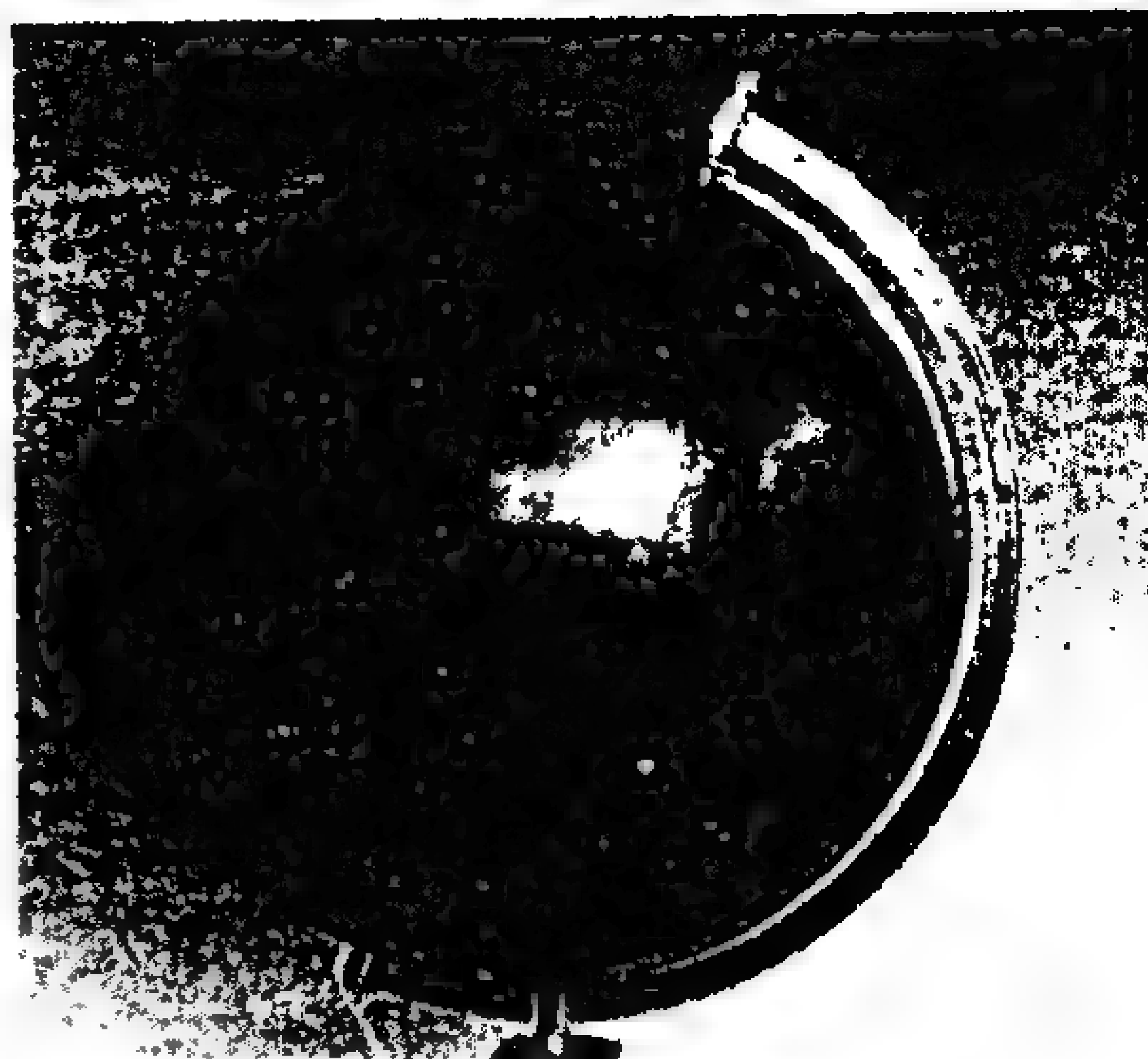
Constelația Casiopeea. Cunoscuta figură în formă de W este o parte a unui domeniu omonim substanțial mai mare de pe bolta cerească.

Stelele reunite într-o constelație nu formează, în general, din punct de vedere fizic, un tot unitar.

Numele latin	Numele german	Prescurtare
Andromeda	Andromeda	And
Auriga	Fuhrmann	Aur
Canis Minor	Kleiner Hund	CMi
Orion	Orion	Ori
Ursa Maior	Großer Bär	UMa

Globul ceresc

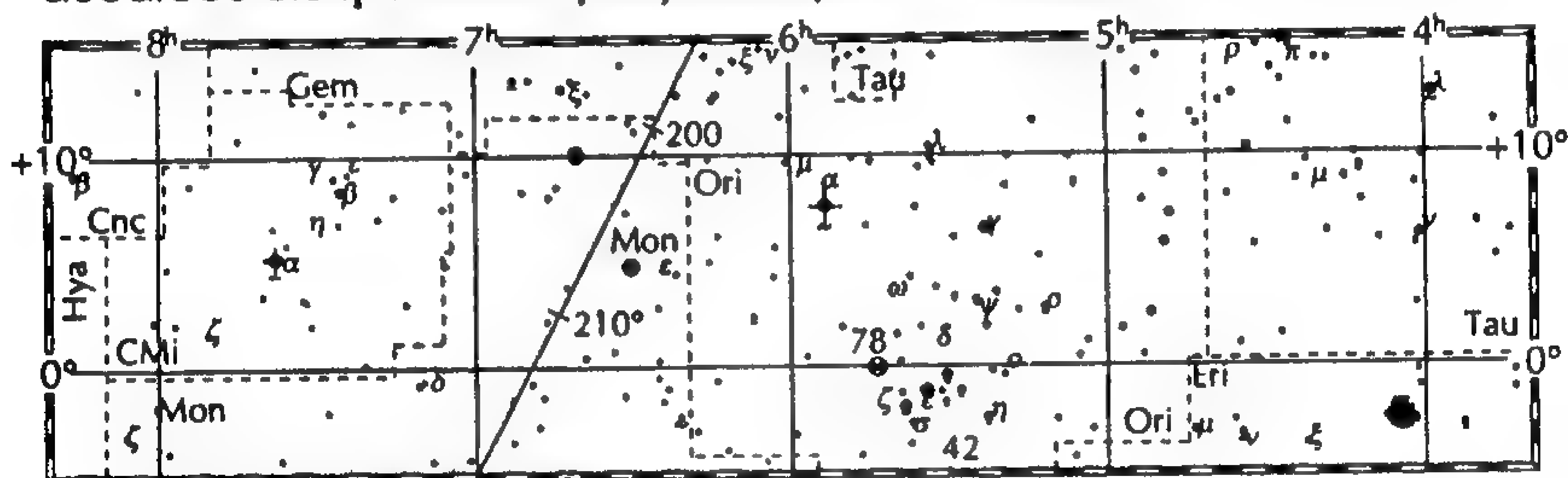
Model spațial al sferei cerești, pe care sunt reprezentate stelele, limitele și liniile de unire ale constelațiilor și de cele mai multe ori liniile de coordonate. Cele mai multe globuri cerești sunt astfel proiectate încât observatorul de fapt ar trebui să se găsească în centrul globului pentru a putea vedea bolta cerească într-o reprezentare conformă cu realitatea. Privit din exterior, constelațiile apar din această cauză inversate.



Globul ceresc

Hărțile cerești

Reprezentări cartografice ale unei părți din sfera cerească pe care apar obiectele observate (stele, constelații, nebuloase, galaxii, Calea Lactee), de cele mai multe ori în rețeaua de coordonate ale sistemului ecuatorial rotativ. Soarele, Luna și planetele nu sunt cuprinse în hărțile cerești, deoarece ele își schimbă poziția în raport cu stelele.

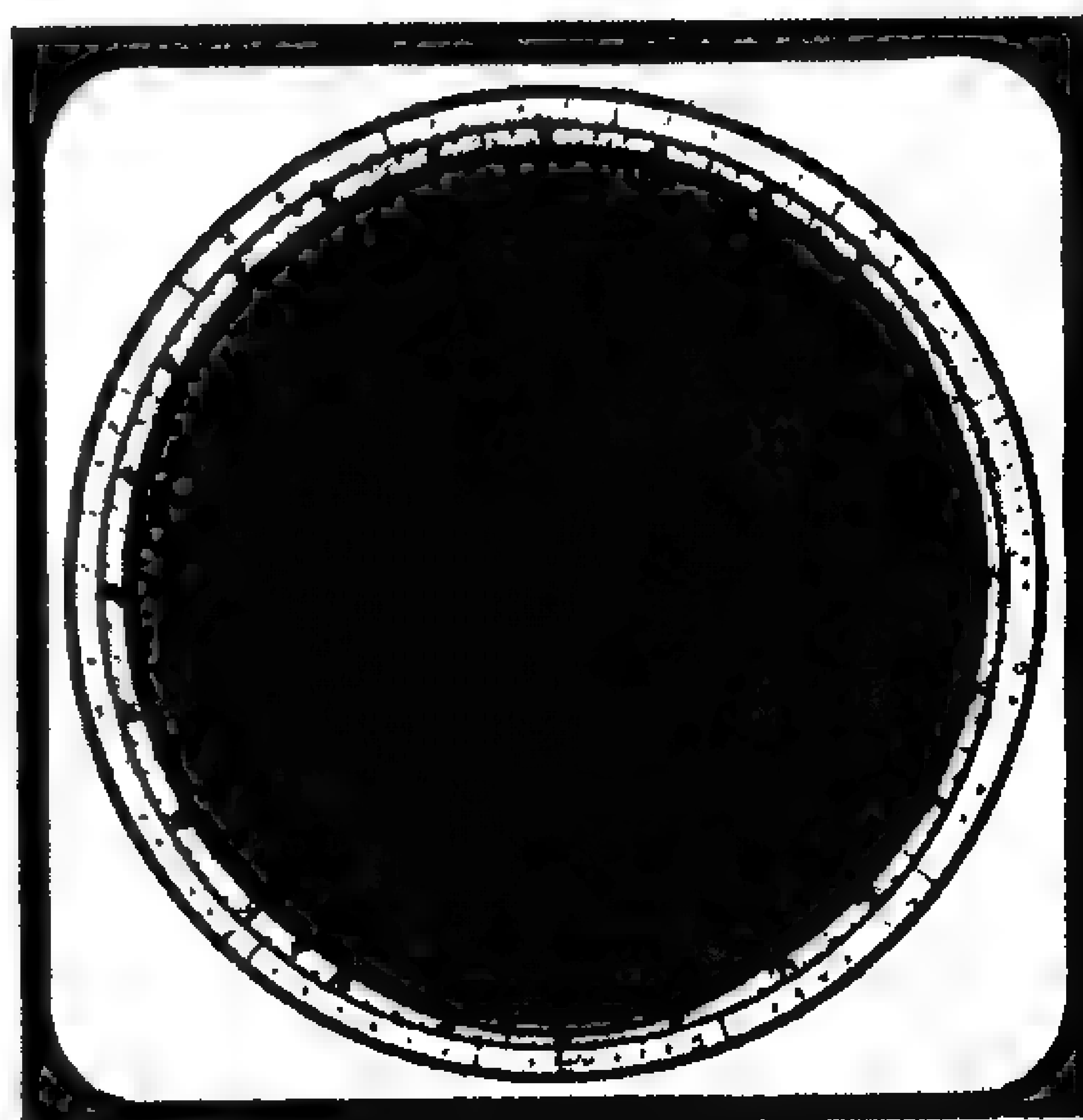


Extras dintr-un atlas stelar

Harta cerească rotativă

Reprezentare a unei părți a sferei cerești ce se află deasupra unui anumit punct de observație, în concordanță cu tipul de observație corespunzător. Harta cerească rotativă poate fi potrivită pentru un anumit moment.

Atlasul stelar. Concentrare de hărți stelare de același tip într-un atlas, care conține corpurile cerești cu o strălucire aparentă mai intensă decât o anumită valoare, aflate fie pe întreaga sferă cerească, fie numai pe acea parte din sfera cerească vizibilă dintr-un anumit punct de observație.



Hartă cerească rotativă

Planetariul

Instalație de proiecție folosită pentru redarea cât mai fidelă a imaginii cerului, cu stelele, Calea Lactee, planetele, Soarele și Luna. Planetariul dă posibilitatea demonstrării mișcării acestor corpuri cerești în succesiuni de imagini accelerate. Imaginile corpurilor cerești sunt proiectate pe partea interioară a unei emisfere albe mate, cu diametrul de 5 – 30 m. Spectatorul se găsește în interiorul emisferei.



Planetariu

■ Planetarii în Germania (selecție)

Planetarii mari	*Planetarii mici*	
Berlin	Bremen	Osnabrück
Bochum	Eilenburg	Potsdam
Cottbus	Fürstenfeldbruck	Radebeul
Jena	Fulda	Recklinghausen
Halle	Glücksburg	Reutlingen
Hamburg	Herzberg (E)	Rodewisch
Mannheim	Kiel	Rostock
München	Laupheim	Schkeuditz
Stuttgart	Magdeburg	Schneeberg
	Nordhausen	Suhl
	Nürnberg	Wolfsburg

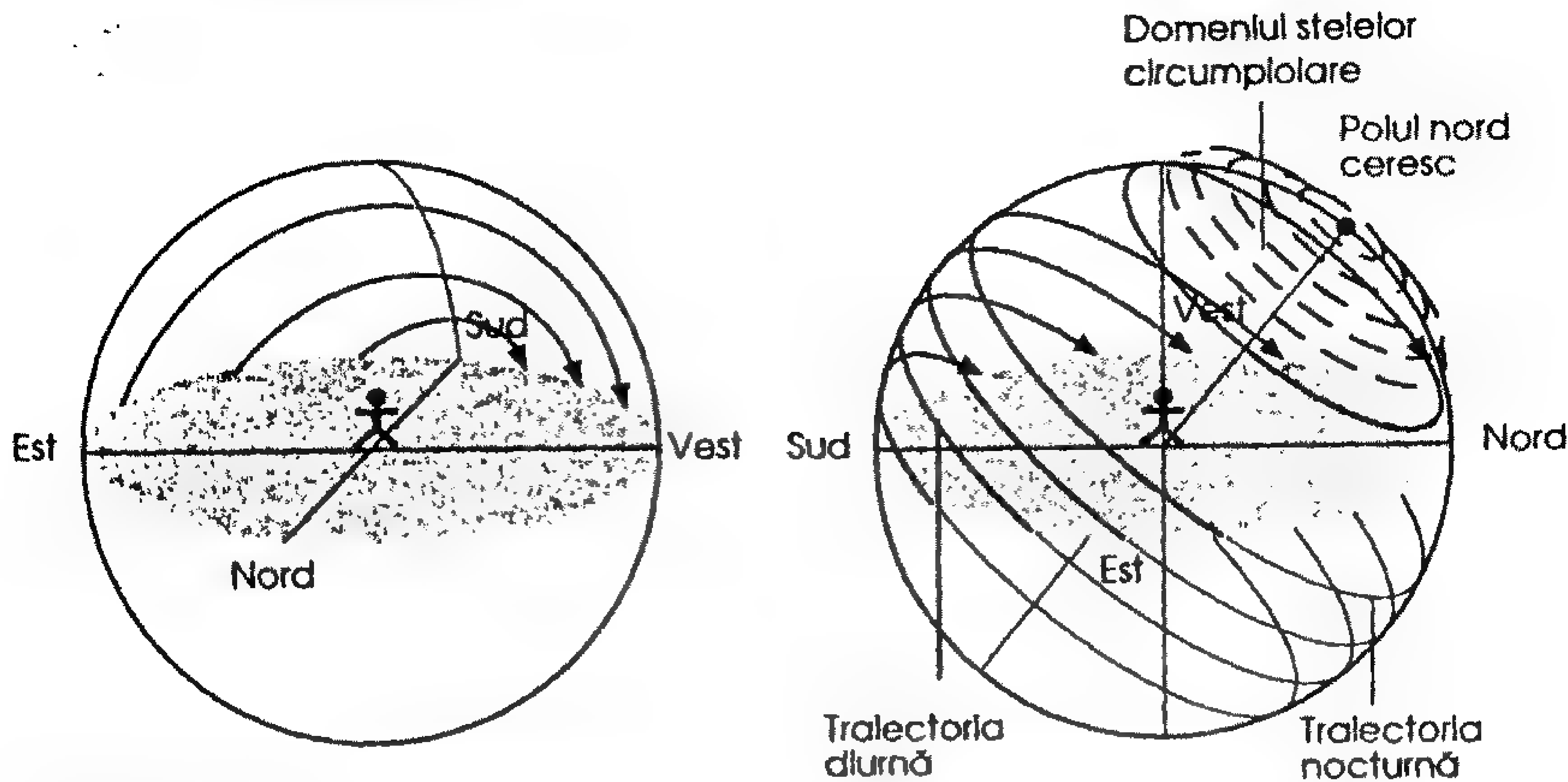
MIȘCĂRILE APARENTE ALE STELELOR

Mișcarea zilnică a stelelor

Reflectare a rotației Pământului; rotație aparentă a sferei cerești în jurul axei lumii de la est, prin sud, spre vest. O rotație a sferei cerești durează o zi siderală.

↗ Definiția astronomică a timpului, p. 35. ↗ Timpul sideral, p. 38.

Răsăritul, apusul. Apariția, respectiv dispariția unei stele la orizontul aparent ca urmare a mișcării zilnice aparente a stelelor.



Traiectoria diurnă a trei stele, din punctul de vedere al unui observator aflat pe Pământ

Traiectoria diurnă și nocturnă a diferitelor stele, din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești

Stelele circumpolare. Stelele care, din cauza faptului că sunt atât de apropiate de polii sferei cerești, nu mai ating orizontul în timpul mișcării lor diurne. Mărimea domeniului stelelor circumpolare depinde de înălțimea polului ceresc deasupra orizontului observatorului și, prin aceasta, de latitudinea geografică a punctului din care se face observația.

Înălțimea polului = latitudinea geografică

Pentru un punct de observație situat la latitudinea geografică φ, toate stelele a căror depărtare de pol este mai mică decât φ sunt stele circumpolare.

[illegible]	[illegible]	
	polului nord ceresc	polului sud ceresc
Emisfera nordică a Pământului ■ Berlin	nu apun niciodată, sunt vizibile în fiecare noapte senină ■ Ursa mică	nu răsar niciodată, rămân întotdeauna invizibile ■ Crucea Sudului
Emisfera sudică a Pământului ■ Melbourne	nu răsar niciodată, sunt întotdeauna invizibile ■ Ursa mică	nu apun niciodată, sunt vizibile în fiecare noapte senină ■ Crucea Sudului

- Pentru observatorul aflat la ecuator, unde latitudinea geografică este de 0°, nu există stele circumpolare.

Traiectoria diurnă. Porțiunea din traiectoria unei stele care, ca urmare a mișcării zilnice aparente, traversează regiunea din sfera cerească aflată deasupra orizontului; este redată de regulă în mărimi unghiulare.

■ Stelele circumpolare vizibile dintr-un punct de observație au traiectoria diurnă de 360°.

Culminația

Trecerea unei stele în mișcarea sa zilnică peste meridianul locului.

Culminația superioară	Culminația inferioară
Steaua traversează meridianul între polul nord ceresc și punctul sud al orizontului; atinge cea mai mare înălțime a sa deasupra orizontului.	Steaua traversează meridianul sub polul nord ceresc (observabil doar la stelele circumpolare).

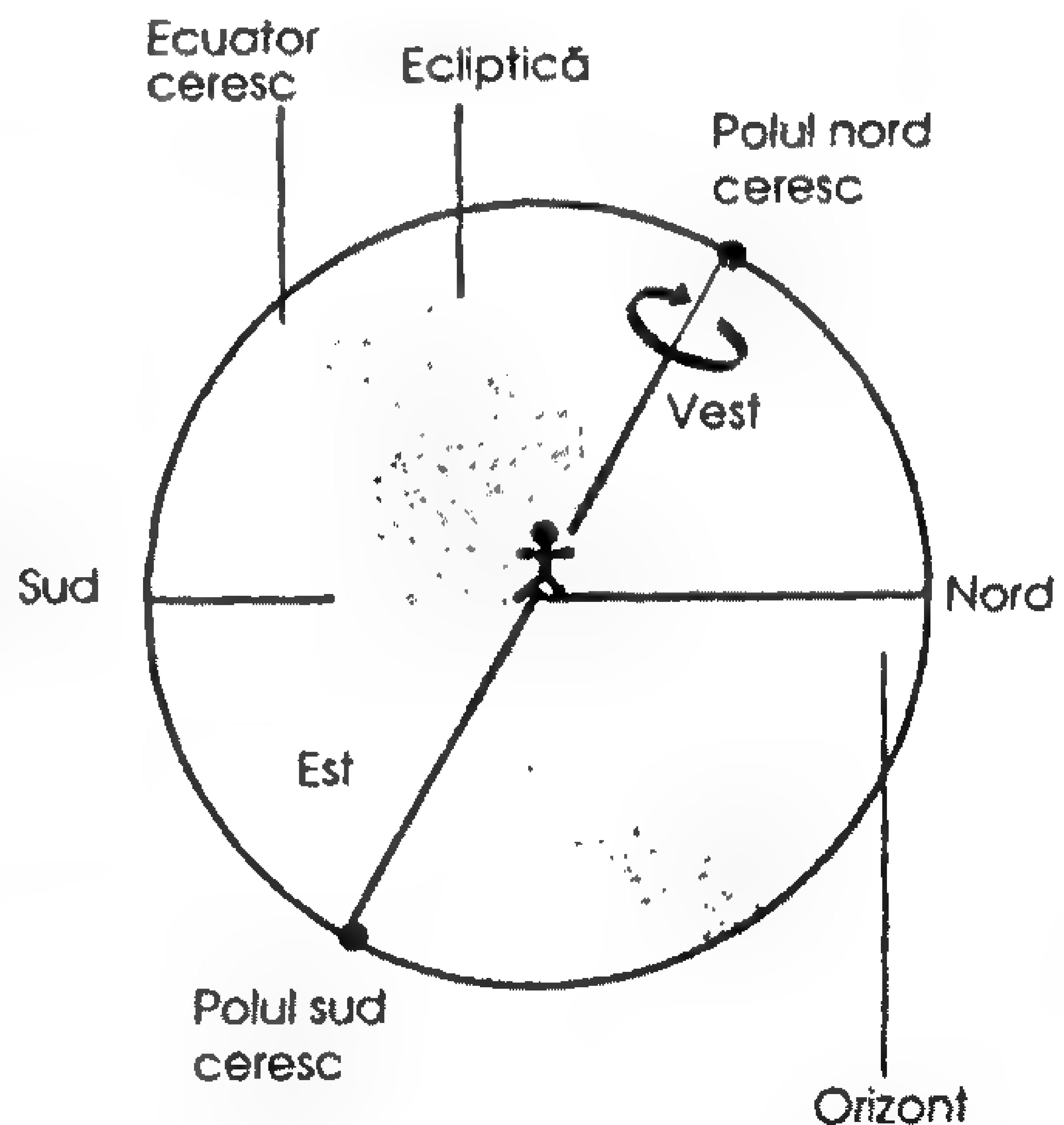
Culminația superioară a Soarelui: miezul zilei, 12^h timp solar real.
Culminația inferioară a Soarelui: miezul nopții, 0^h timp solar real.

↗ Meridian, p. 26. ↗ Coordonate orizontale, p. 41.

Ecliptica

Termenul este folosit cu două semnificații:

- Traiectoria anuală aparentă a Soarelui prin constelațiile zodiacului, linia de intersecție dintre planul orbitei Pământului și sfera cerească; cel mai mare cerc de pe sfera cerească; planul său este înclinat cu 23,4° față de ecuatorul ceresc. Ecliptica intersectează ecuatorul ceresc în punctul vernal și punctul autumnal.



Sfera cerească, orizont, ecuator ceresc și ecliptică. Mișcarea zilnică are loc în jurul axei lumii.

- Orbita reală a Pământului în spațiu; o elipsă care are într-unul dintre focare Soarele.

↗ Ecuator ceresc, p. 26. ↗ Punct vernal, p. 33.

Înclinația eclipticii. Desemnare uzuală a înclinației planului eclipticii față de planul ecuatorului ceresc.

Zodiacul. Zonă situată de o parte și de alta a eclipticii; ea conține semne zodiacale purtând, în mare majoritate, nume de animale. Ecliptica se numește, de aceea, și *linie zodiacală.*

Semnele zodiacale. În astrologia antică, ecliptica a fost împărţită în 12 sectoare de aceeaşi lungime. Aceste sectoare erau numite semne zodiacale. Datorită precesiei, semnele zodiacale nu mai sunt în concordanţă cu constelaţiile corespondente lor.

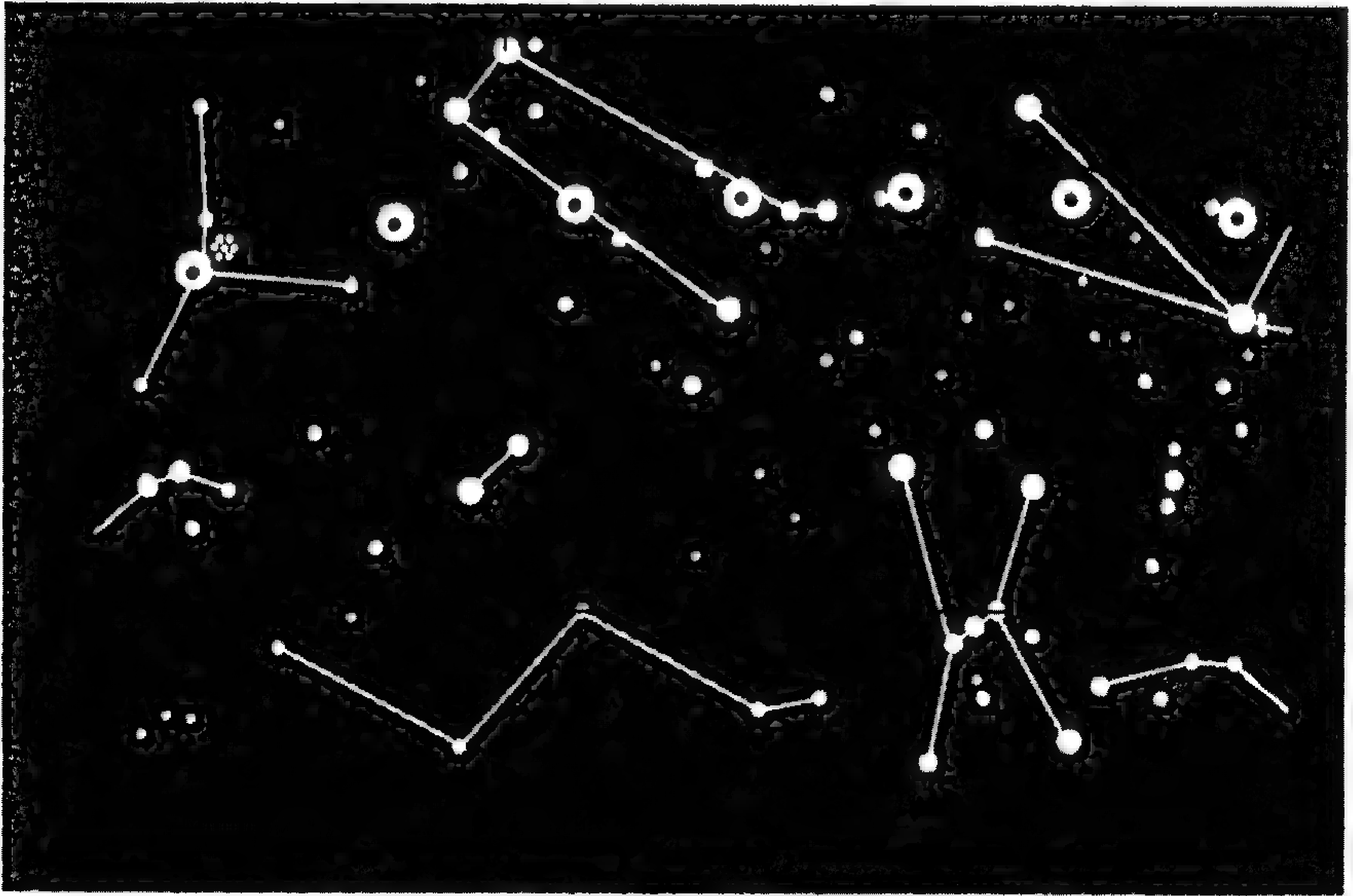
Constelaţie	Simbol	Semnul este traversat de Soare		Semnul se găseşte astăzi în constelaţia
Taur	♉	de la 21.04	până la 21.05	Berbec
Gemeni	♊	de la 22.05	până la 22.06	Taur
Rac	♋	de la 23.06	până la 23.07	Gemeni

↗ Precesia, p. 33. ↗ Apariţia astrologiei, p. 166.

Mişcarea anuală a Soarelui

Mişcarea aparentă a Soarelui în raport cu stelele, în timpul căreia Soarele, de-a lungul unui an, traversează toate constelaţiile zodiacului. Reflectare a mişcării reale de rotaţie a Pământului în jurul Soarelui. Constelaţiile care se află în direcţia Soarelui sunt invizibile pentru un observator de pe Pământ timp de una până la două luni.

Constelaţie	Invizibilă
Taur	De la mijlocul lui mai până la sfârşitul lui iunie
Gemeni	De la mijlocul lui iunie până la începutul lui august
Rac	De la sfârşitul lui iunie până la sfârşitul lui august



↗ Calendar, p. 39. ↗ Ecliptica, p. 31.

Punctul vernal

Punctul de intersecţie dintre ecuatorul ceresc şi ecliptică în care Soarele, în timpul mişcării sale anuale, trece la 21.03 (în unii ani la 20.03 sau 22.03) din emisfera sudică în emisfera nordică a sferei cereşti.

Simbol: ♈

Punctul vernal se afla odată în constelaţia Berbecului. Datorită precesiei, el se află astăzi în constelaţia Vărsătorului.

↗ Precesia , p. 33.

Punctul autumnal

Intersecţia dintre ecuatorul ceresc şi ecliptică, când Soarele trece, la 23.09., din emisfera nordică în emisfera sudică.

Simbol: ♎

↗ Ecuatorul ceresc, p. 26. ↗ Ecliptica, p. 31.

Precesia

Mişcare giroscopică – respectiv oscilantă a axei Pământului, datorată în special atracţiei exercitate de Lună şi de Soare asupra proeminenţei ecuatoriale a planetei noastre. Axa Pământului descrie, aidoma axei unui titirez, suprafaţa unui con dublu, al cărui vârf se află în centrul Pământului şi a cărui axă este îndreptată spre polul ecliptic. O rotaţie a axei terestre pe suprafaţa conului durează circa 25 700 ani. Deplasarea ecuatorului ceresc se află în legătură cu deplasarea axei terestre.

Urmările precesiei	Evenimente ce survin în decursul unor perioade de timp mai lungi
Deplasarea polilor cereşti faţă de stele	■ „Steaua polară” este în anul 2000 steaua α din Ursa Mică, în anul 9000 steaua Deneb din Lebăda, iar în anul 13000 Steaua Vega din Lira.
Deplasarea punctului vernal şi a punctului autumnal pe ecliptică	Modificarea coordonatelor stelare în sistemele de coordonate ale ecuatorului şi ale eclipticii.
	Deplasarea semnelor zodiacale în raport cu constelaţiile zodiacale.

■ Modificarea coordonatelor stelei Betelgeuse din Orion în decursul a 30 de ani

Data	Ascensia dreaptă	Declinaţia
01.01.1950	$5^h 52^{min} 28^s$	$+7°23'58''$
01.01.1980	$5^h 54^{min} 05^s$	$+7°24'16''$

↗ Coordonate ecuatoriale, p. 44.
↗ Coordonate ecliptice, p. 45.

Anotimpurile

Perioade ale anului caracterizate prin poziția reciproc schimbătoare a Pământului și a Soarelui. Apariția diferențierilor climatice de la un anotimp la altul este urmarea înclinării axei Pământului față de verticală în raport cu planul orbitei terestre, în timpul rotației Pământului în jurul Soarelui.

Primăvara astronomică începe pentru emisfera nordică a Pământului atunci când Soarele, în mișcarea sa aparentă anuală, trece prin punctul vernal; când Soarele se găsește în nord la cea mai mare distanță față de ecuatorul ceresc, începe vara astronomică.

Toamna debutează prin trecerea Soarelui prin punctul autumnal, iar iarna prin trecerea prin acel punct de pe orbită situat la cea mai mare depărtare sudică față de ecuatorul ceresc.

În ceea ce privește definirea astronomică a anotimpurilor, este vorba despre mărimi matematice (de calcul) de care evenimentele meteorologice sunt doar tangențial influențate.

Ziua	Poziția Pământului		Razele Soarelui întâlnesc suprafața Pământului	Durata cât Soarele se află deasupra orizontului	Încălzirea suprafeței terestre	Anotimpul
22.06.	Emisfera nordică îndreptată spre Soare		perpendicular	mare	puternică	vară
	Emisfera sudică este opusă Soarelui		orizontal	mică	redusă	iarnă
23.09	Emisfera nordică	razele soarelui întâlnesc suprafața sub același unghi	înclinare medie	medie	medie	toamnă
	Emisfera sudică		înclinare medie	medie	medie	primăvară
22.12.	Emisfera nordică opusă Soarelui		orizontal	mică	redusă	iarnă
	Emisfera sudică îndreptată spre Soare		perpendicular	mare	puternică	vară
21.03.	Emisfera nordică	razele Soarelui întâlnesc sub același unghi suprafața terestră	înclinare medie	medie	medie	primăvară
	Emisfera sudică		înclinare medie	medie	medie	toamnă

Durata anotimpurilor. Din cauza vitezei diferite pe care o are Pământul în timpul rotației sale în jurul Soarelui, anotimpurile nu au aceeași durată.

Anotimp	Durata în emisfera nordică	Anotimp	Durata în emisfera nordică
Primăvară Vară	92 zile și 22 h 93 zile și 14 h	Toamnă Iarnă	89 zile și 17 h 89 zile și 1 h

Ziua polară, noaptea polară. Când polul nord terestru este îndreptat către Soare, în timpul rotației Pământului, acesta rămâne permanent în lumina solară. Pentru un observator aflat la polul nord terestru, soarele nu apune în acest timp, acolo stăpânind ziua polară.
În mod corespunzător, în același timp, la polul sud terestru domnește noaptea polară. Ziua și noaptea polară, care au o durată diferită, dependentă de latitudinea geografică a punctului din care se efectuează observația, pot fi observate în toate punctele aflate între 66,6⁰ și 90⁰ latitudine nordică, respectiv sudică.

TIMPUL

Definiția astronomică a timpului

Împărțirea timpului prin procese ce se derulează periodic, observabile pe sfera cerească. Cea mai evidentă unitate de timp este ziua, definită ca fiind durata unei rotații a Pământului în jurul axei sale, raportată la traversarea meridianului sau a punctului vernal de către Soare.
Pământul se rotește în fiecare zi siderală cu 360⁰, într-o oră cu 15⁰, într-un minut cu 0,25⁰.

↗ Timpul sideral, p. 38. ↗ Timpul solar, p. 35.

Definiția fizică a timpului

Stabilirea unității de timp printr-un proces care se derulează periodic și care este observabil cu mijloace fizice. Aceasta este necesară întrucât rotația Pământului nu decurge pe deplin uniform.
Secunda este durata a 9 192 631 770 de perioade care corespund tranziției între două nivele de energie hiperfine ale stării fundamentale a atomului de cesiu 133.

Secunda de legătură

Corectură care face posibilă egalarea timpului fizic (prin ceasuri atomice) cu timpul astronomic. La nevoie, ea este introdusă sau eliminată la 30 iunie sau 31 decembrie, atunci când diferența dintre cele două timpuri depășește 0,7 secunde.

Timpul solar

Împărțire a timpului datorată mișcării zilnice aparente a Soarelui pe sfera cerească.

Timpul solar real. Măsură temporală neuniformă care se calculează prin observaţii nemijlocite asupra Soarelui. Perioada de timp dintre două culminaţii inferioare ale Soarelui reprezintă ziua solară reală. Durata sa nu este constantă întrucât Soarele se deplasează, în mişcarea sa anuală aparentă pe bolta cerească, cu viteză diferită pe o orbită înclinată către ecuatorul ceresc, numită ecliptică. Timpul solar real poate fi citit pe ceasurile solare.

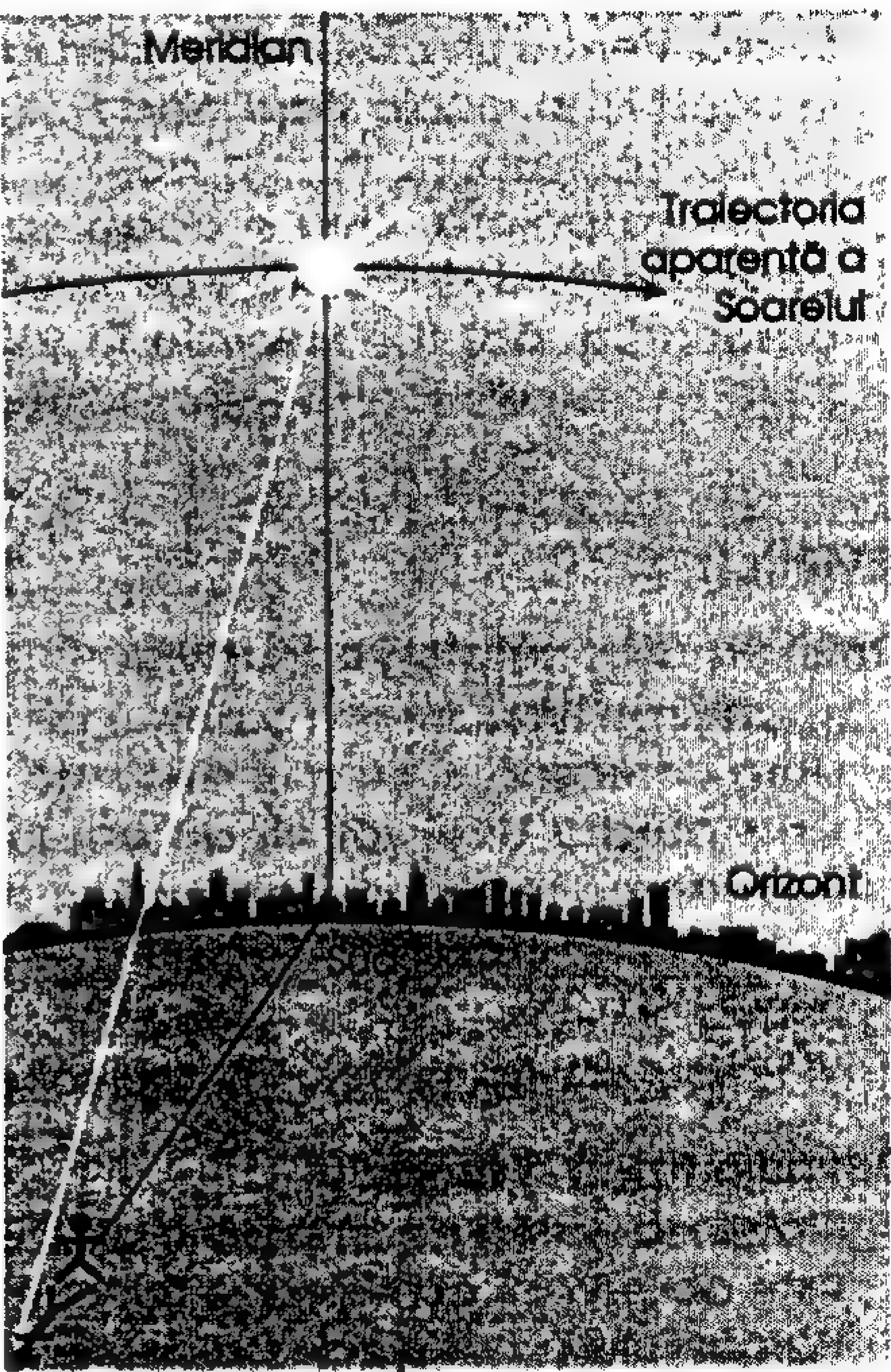
↗ Culminaţia, p. 31. ↗ Legile lui Kepler, p. 54.
↗ Ecuaţia timpului, p. 37. ↗ Ecliptica, p. 31.

Timpul solar mediu. Măsură a timpului aproape uniformă, calculată în funcţie de un Soare mediu virtual.

Mişcarea anuală aparentă a Soarelui mediu are loc:

- în lungul ecuatorului ceresc;
- în acelaşi timp cu Soarele real;
- cu o viteză uniformă.

O rotaţie a Pământului raportată la Soarele mediu durează o zi solară medie.



Culminaţia superioară a Soarelui real. Pentru observator este 12h după timpul solar real

Cauze ale variaţiei timpului solar mediu
Frecarea dintre uscat şi mare la flux şi la reflux
Deplasarea maselor în interiorul Pământului
Deplasarea maselor de aer şi topirea gheţii de la polii tereştri în ritmul anotimpurilor
Modificări ale poziţiei axei de rotaţie în interiorul Pământului

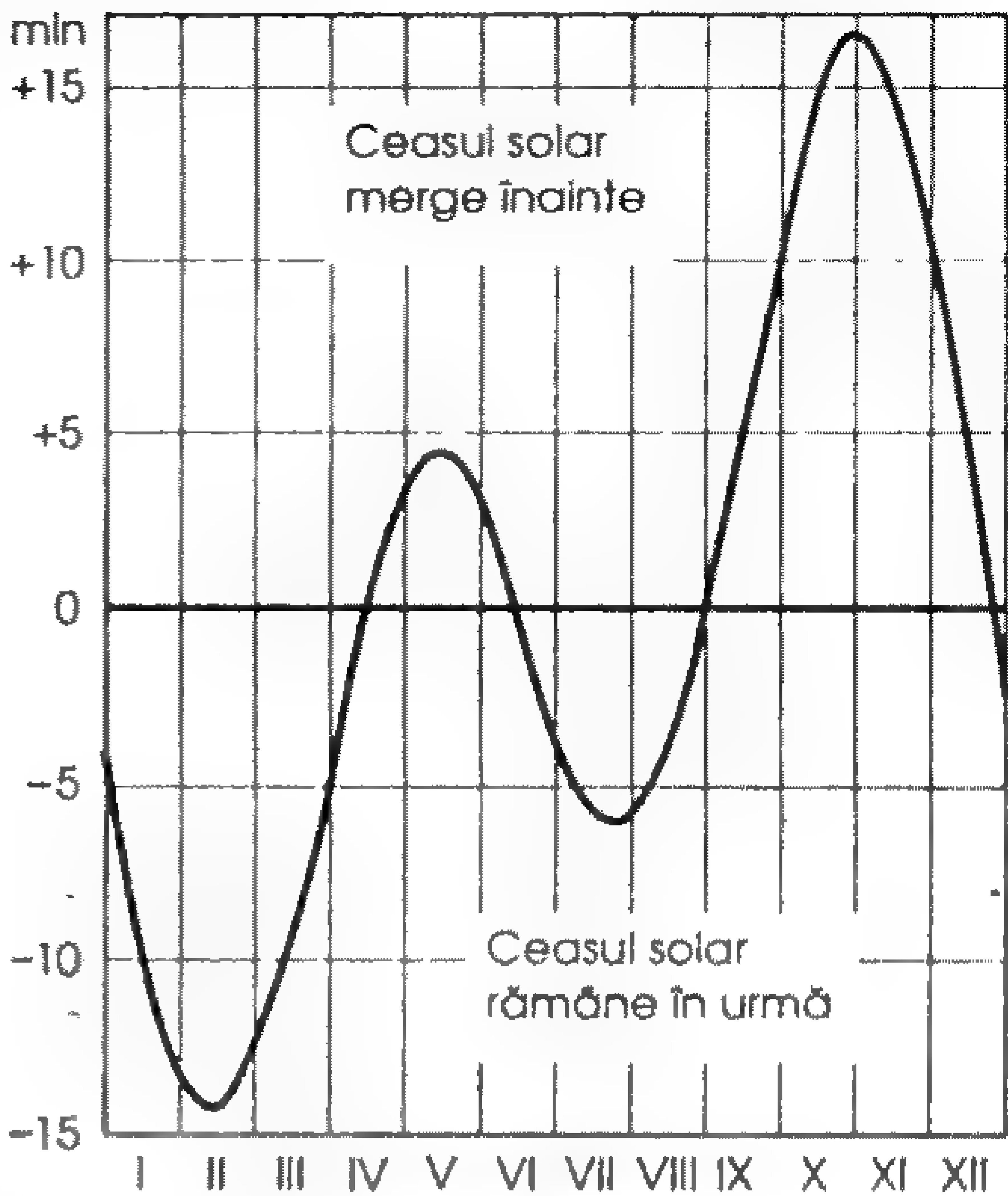
Timpul solar mediu şi timpul solar real diferă în cursul unui an cu până la 16 minute.

↗ Ecuaţia timpului, p. 37.

Ziua siderală – Ziua

Ecuaţia timpului

Diferenţa dintre timpul solar real şi timpul solar mediu. Ea arată cu cât merge înainte sau rămâne în urmă un ceas solar (timpul solar real) faţă de un ceas care măsoară timpul solar mediu.



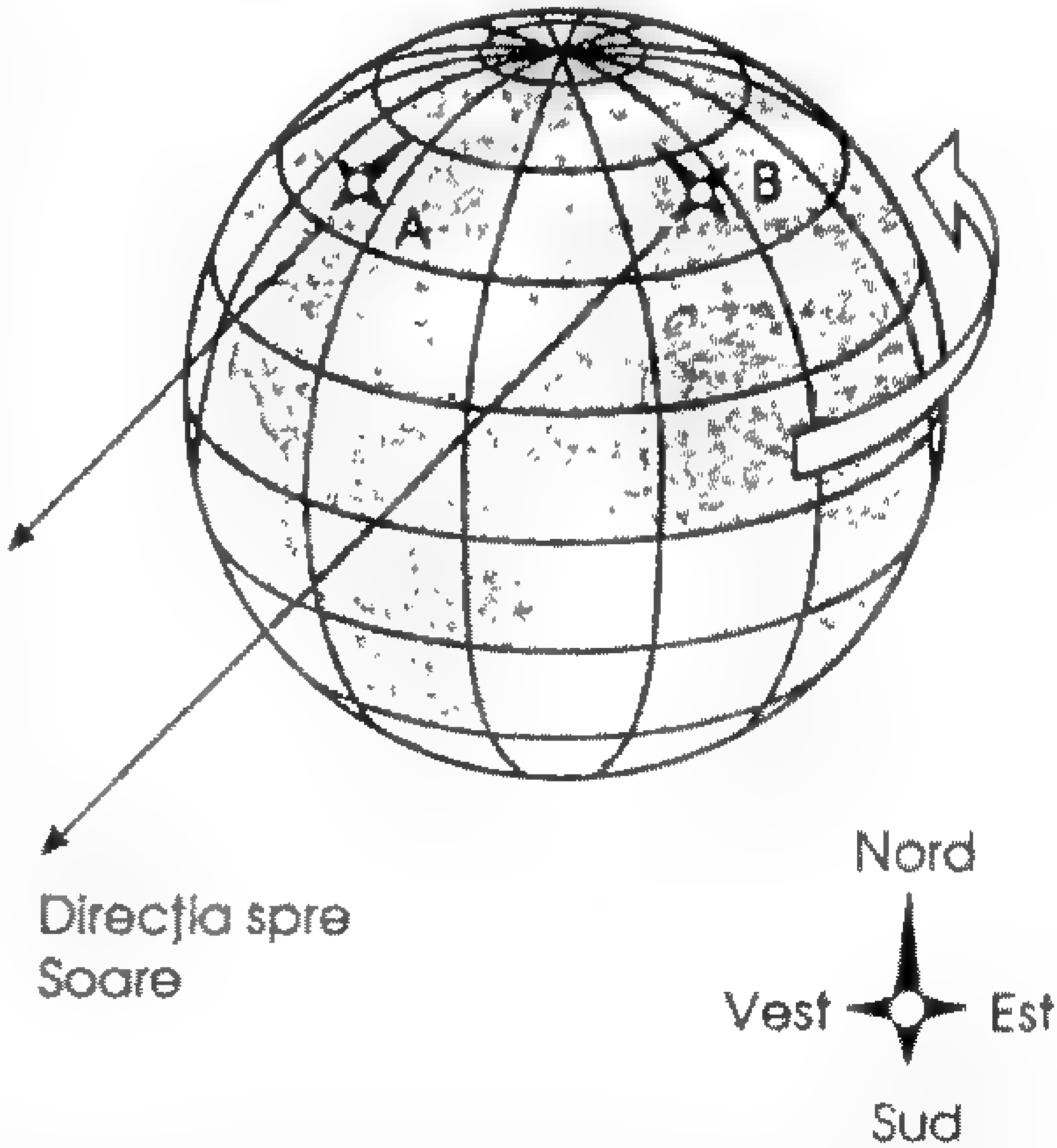
Curba ecuaţiei timpului

Timpul local

Indicaţia de timp relativă la punctul observaţiei. Meridianul locului din care se face observaţia trece drept linie de referinţă.

Timpul solar real şi timpul solar mijlociu sunt timpuri locale. Două ceasuri aflate pe longitudini geografice diferite arată timpuri diferite pentru că, pentru ambele puncte, soarele mijlociu, respectiv soarele real culminează în momente diferite. Timpul sideral este, de asemenea, un timp local.

↗ Timpul sideral, p. 38.



Pentru observatorul A Soarele culminează, pentru observatorul B este miezul zilei.

Timpul legal

Timpul normal, valabil prin convenţii internaţionale pentru un teritoriu mai întins (fus orar), de cele mai multe ori timpul local pentru puncte aflate în apropierea meridianului mijlociu al fusului orar.

Ora Europei de Vest (GMT) Timpul local pentru longitudinea geografică de 0°	Valabil, printre altele, pentru Irlanda, Portugalia, Marea Britanie	12^h CET = 11^h GMT CET = GMT + 1h

Ora Europei Centrale (CET) Timpul local pentru longitudinea estică de 15°	Valabil, printre altele, pentru Germania, Austria, Elveția, Italia, Danemarca, Norvegia, Suedia	
Ora Europei de Răsărit (EET) Timpul local pentru longitudinea estică de 30°	Valabil, printre altele, pentru Bulgaria, România, Grecia, Finlanda	12^h CET = 13^h EET CET = EET – 1h

Orele folosite în interiorul fuselor orare nu corespund întotdeauna cu fusul orar respectiv.

Ora de vară

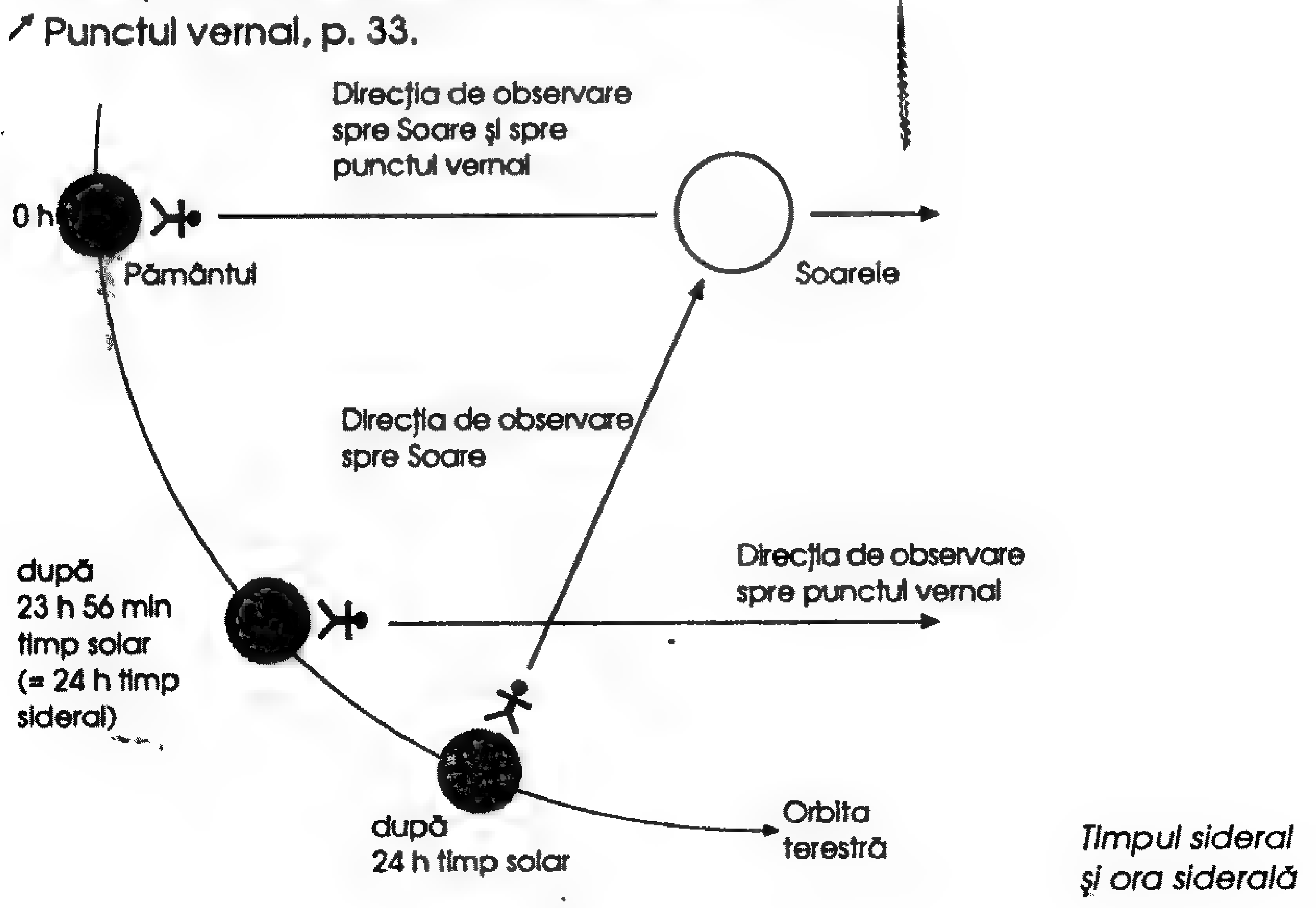
O decalare de o oră a timpului pentru lunile de vară. Avantajul său constă în mai buna utilizare a luminei zilei în orele de seară. În majoritatea statelor central-europene este valabilă, din aprilie până în septembrie, ora de vară central-europeană (CEST).

Timpul sideral

Împărțire a timpului folosită în astronomie, determinată de rotația Pământului în relație cu punctul vernal. În momentul culminației superioare a punctului vernal, ora siderală este 0^h.

Ziua siderală. Durata unei rotații a Pământului, în relație cu două culminații superioare succesive ale punctului vernal. O zi siderală este mai scurtă decât o zi solară mijlocie.
1zi siderală = 24h siderale = 23h 56min 4,1s timp solar;
24 h timp solar = 24h 3min 56,6s timp sideral.

↗ Punctul vernal, p. 33.



Timpul sideral și ora siderală

1800, 1900, 2100 sunt ani comuni.
1988 1992, 1996, 2000, [illegible]

Calendarul

Diviziune a timpului rezultată prin adunarea a unei mulțimi de zile solare. Baza sa este fie timpul de rotație a Pământului în jurul Soarelui (calendar solar), fie timpul de rotație a Lunii în jurul Pământului (calendar lunar). Unitățile de timp naturale astronomice, luna și anul, nu sunt multipli întregi de zile solare, de aici existența mai multor posibilități de împărțire a timpului.

Anul. Perioadă de timp necesară Pământului pentru a efectua o rotație în jurul Soarelui.

[illegible] Pământului		
Punctul de referință	Durata	Denumirea
punctul vernal	365 zile 5h 48 min 46 s	an tropic
o anumită stea	365 zile 6h 9 min 9 s	an sideral

Diferența dintre lungimea anului tropical și a anului sideral ne conduce înapoi la precesie.
↗ Punctul vernal, p. 33. ↗ Precesia, p. 33.

Anul comun. An calendaristic de 365 zile. Este cu circa 6 ore (un sfert de zi) mai scurt decât anul definit din punct de vedere astronomic.

Anul bisect. An calendaristic de 366 de zile care, o dată la patru ani, ia locul unui an comun. Prin adăugarea unei zile (29 februarie), se elimină decalajul dintre lungimea anului calendaristic și lungimea anului astronomic.

Calendarul iulian. Precursor al calendarului gregorian, a fost introdus în anul 46 î. Hr. de către Iulius Cezar. În calendarul iulian, după trei ani comuni urmează un an bisect.
4 ani tropici durează 1460,9688 zile.
4 ani după calendarul iulian durează 1461,0000 zile.
Diferența rămasă, de 0,0312 zile, crește în 128 de ani la o jumătate de zi. De aceea, calendarul iulian nu mai este astăzi în uz.

Calendarul gregorian. Calendarul uzual astăzi în majoritatea țărilor lumii. El a fost propus în anul 1581 de către o comisie numită de papa Grigore al XIII-lea.

Regula anilor bisecți în calendarul gregorian

Toți anii al căror număr este divizibil cu patru sunt ani bisecți. Dar, toți anii de început de secol, al căror număr nu este divizibil cu 400, sunt considerați ani comuni.

1800, 1900, 2100 sunt ani comuni.
1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008, 2012 ș.a.m.d. sunt ani bisecți.

400 de ani tropici durează 146 096, 88 zile.
400 de ani după calendarul gregorian durează 146 097,00 zile.
Diferența rămasă poate fi neglijată pentru următoarele milenii.

Data iuliană. O numărătoare curentă a zilelor des folosită în astronomie, fără o împărțire în perioade de timp mai mari.
Fiecare zi este desemnată printr-un număr. Diferențele de timp pot fi astfel ușor calculate. Începutul numărătorii a fost fixat (în mod artificial) la data de 01.01.4713 î.Hr.

Ziua din calendarul gregorian	Data iuliană
01.09.1980	2 444 484
01.01.1990	2 447 893
01.01.2000	2 451 545

↗ Astronomia în Egipt, p. 167.

COORDONATELE ASTRONOMICE

Coordonatele astronomice

Mijloace ajutătoare pentru descrierea poziției unui punct de pe sfera cerească. Pentru orientarea pe bolta cerească, constelațiile constituie mijloace suficiente. Totuși, ele nu mai sunt suficiente atunci când trebuie să se indice poziția exactă a unui punct pe sfera cerească.

Coordonatele astronomice sunt folosite pentru:

- Determinarea mișcării proprii a stelelor;
- Detectarea obiectelor cu o luminozitate slabă, care nu pot fi văzute cu ochiul liber;
- Observarea și aprecierea mișcării unei comete față de stele.

Pentru descrierea poziției unui punct aflat pe sfera cerească sunt necesare coordonate sferice. Raza sferei cerești este considerată ca fiind infinit de mare.

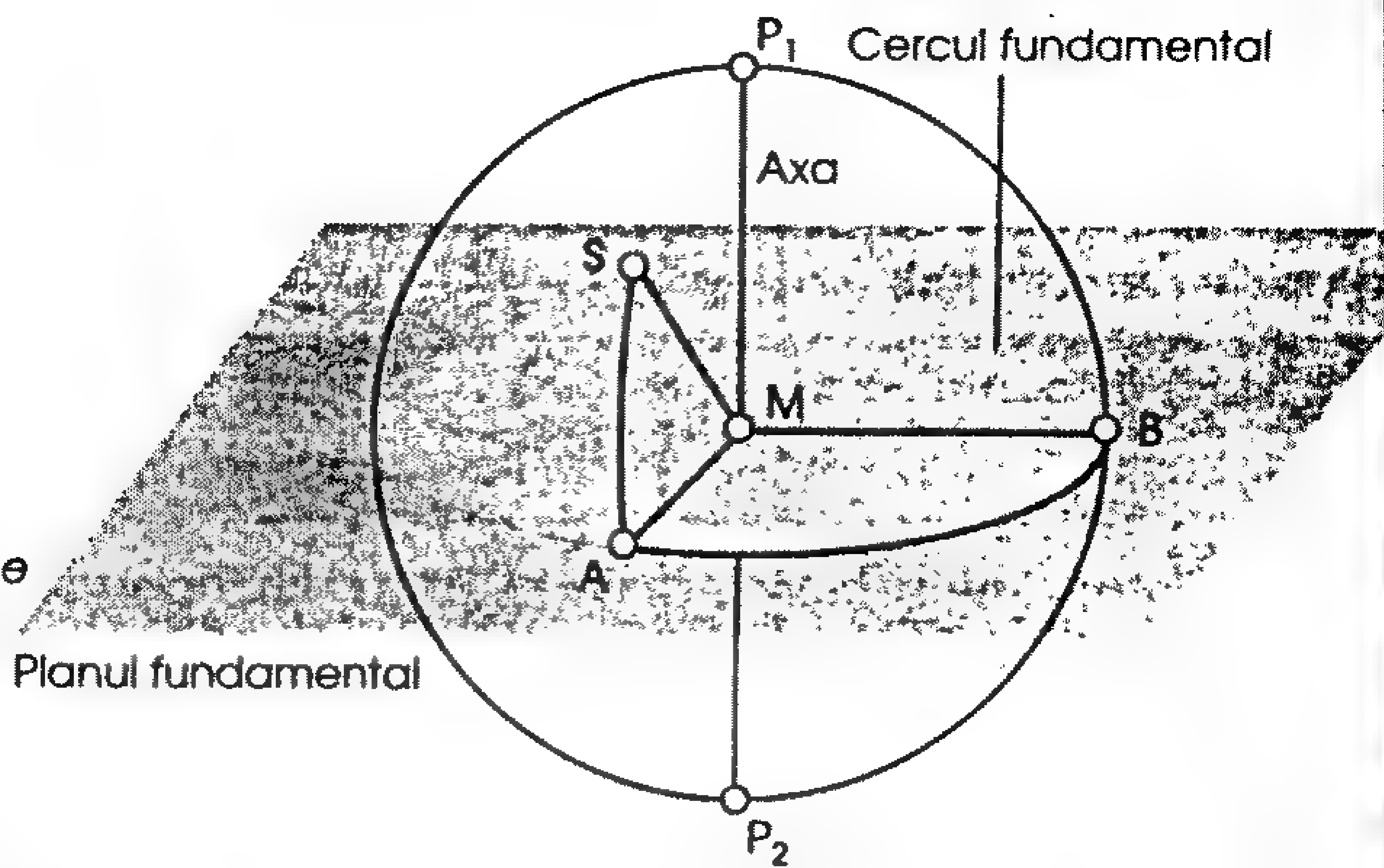
Coordonatele sferice

Baza unui sistem de coordonate sferice o constituie axa și planul fundamental, ca și un punct de reper pe cercul fundamental.

Axa	Trece exact prin centrul sferei
Planul fundamental	Plan perpendicular pe axă, conținând centrul sferei
Cercul fundamental	Intersecția planului de bază cu suprafața sferei
Polii	Intersecția axei cu suprafața sferei

Coordonatele sunt definite ca unghiuri (cu vârful în centrul sferei).

Coordonatele sferice



Coordonata 1 Unghiul de distanță	Distanța față de planul fundamental; unghiul AMS
Coordonata 2 Unghiul de direcție	Unghiul BMA, măsurat pe planul de bază dintr-un punct de repe

■ Coordonatele geografice sunt coordonate sferice.

Cercul fundamental	Ecuatorul terestru
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polii Pământului
Unghiul de distanță	Latitudinea geografică
Unghiul de direcție	Longitudinea geografică
Punctul de reper	Intersecția dintre meridianul Greenwich și ecuatoru terestru

Coordonatele orizontale

Cercul fundamental	Orizontul
Centrul	Punctul din care se face observația
Polii	Zenitul și Nadirul
Unghiul de distanță	Înălțimea *h*
Unghiul de direcție	Azimutul *a*
Punctul de reper	Punctul sud al orizontului

Înălțimea. Unghiul de distanță al stelei cu orizontul matematic.

Înălțimea	Steaua se găsește la
0^0	orizontul matematic
90^0	zenitul observatorului

În cazul înălțimilor cu valoare negativă, steaua se află sub orizont.

↗ Orizontul, p. 25.

- Apusul astronomic începe dimineața (se sfârșește seara), când Soarele are o înălțime deasupra orizontului de –18°

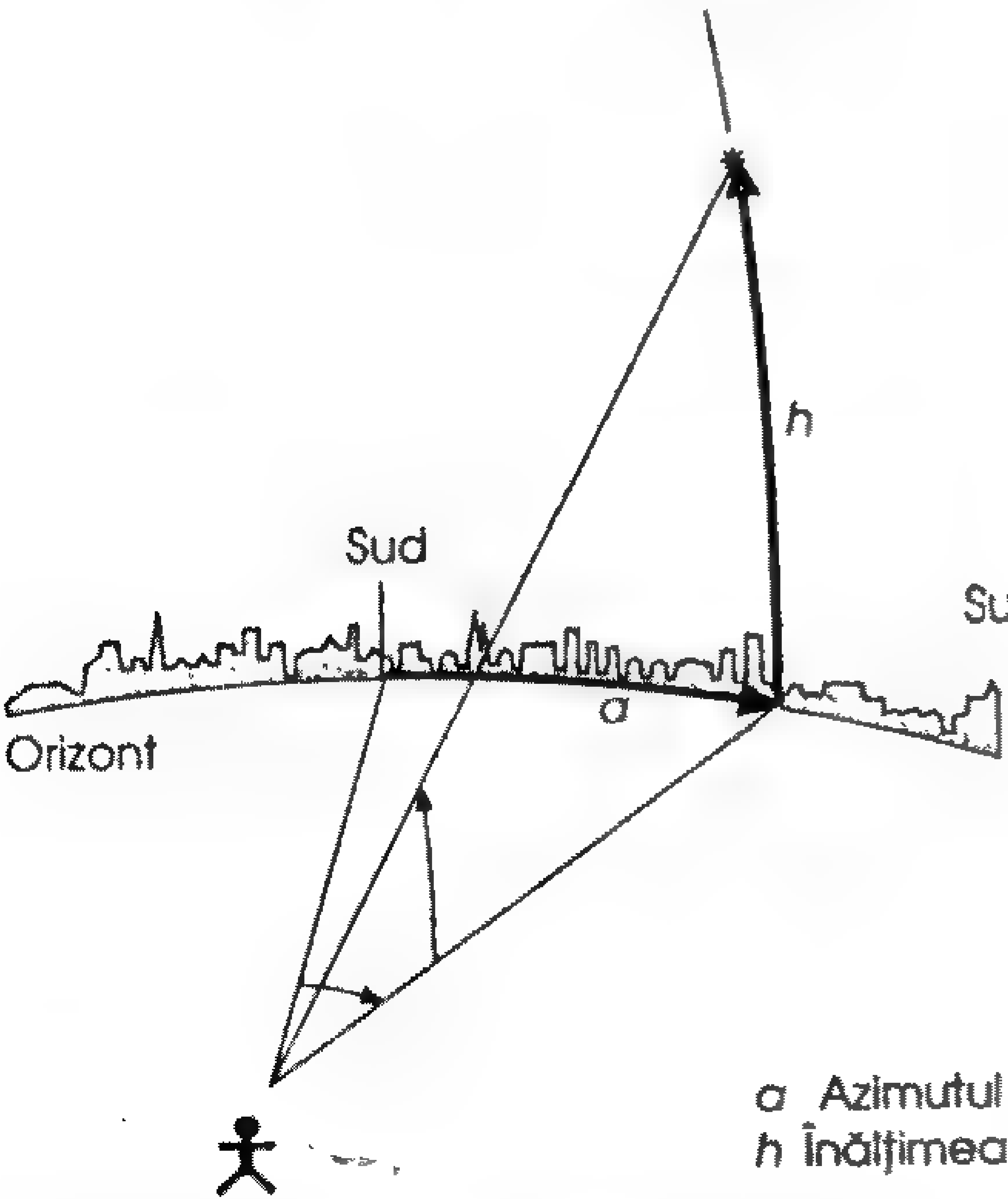
Azimutul. Punctul cardinal, exprimat în grade. Pentru azimut există două feluri de numărători:

■ Numărătoare astronomică	
Azimut	Punct cardinal
0° = 360°	sud
90°	vest
180°	nord
270°	est

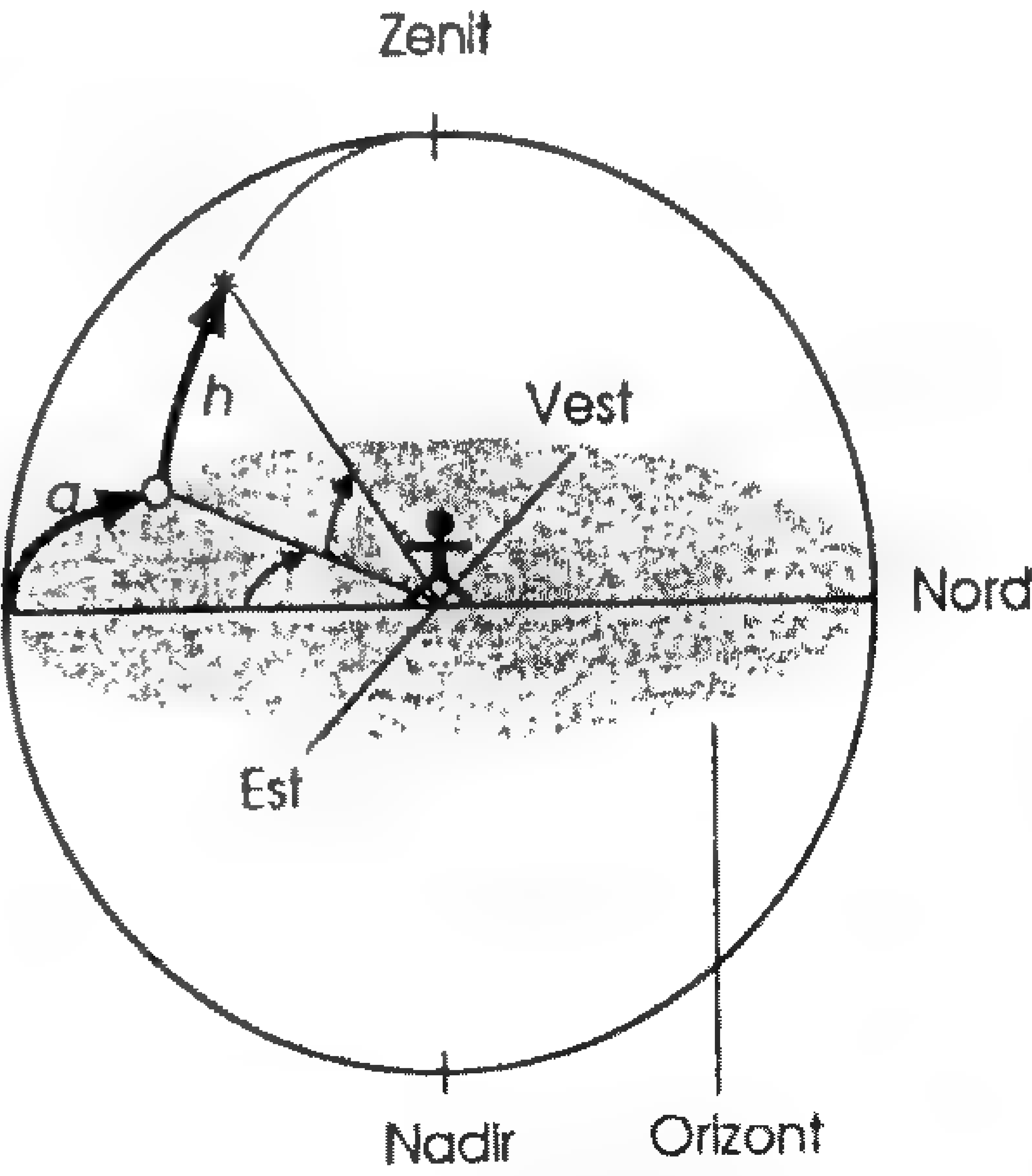
■ Numărătoare geodezică	
Azimut	Punct cardinal
0°	nord
90°	est
180°	sud
270°	vest

Numărătoarea geodezică se folosește și în timpul zborurilor cosmice.

Dependența de timp și loc. Din cauza mișcării zilnice aparente a stelelor, coordonatele azimut și înălțimea deasupra orizontului sunt dependente de locul și timpul observației.



Azimutul și înălțimea deasupra orizontului ale unei stele din punctul de vedere al unui observator aflat pe Pământ



Azimutul și înălțimea deasupra orizontului ale unei stele din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești

Coordonatele orare

Cercul fundamental	Ecuatorul ceresc
Centrul	Punctul din care se face observația
Polii	Polii cerești
Unghiul de distanță	Declinația δ
Unghiul de direcție	Unghiul orar *t*
Punctul de reper	Intersecția dintre ecuatorul ceresc și meridian

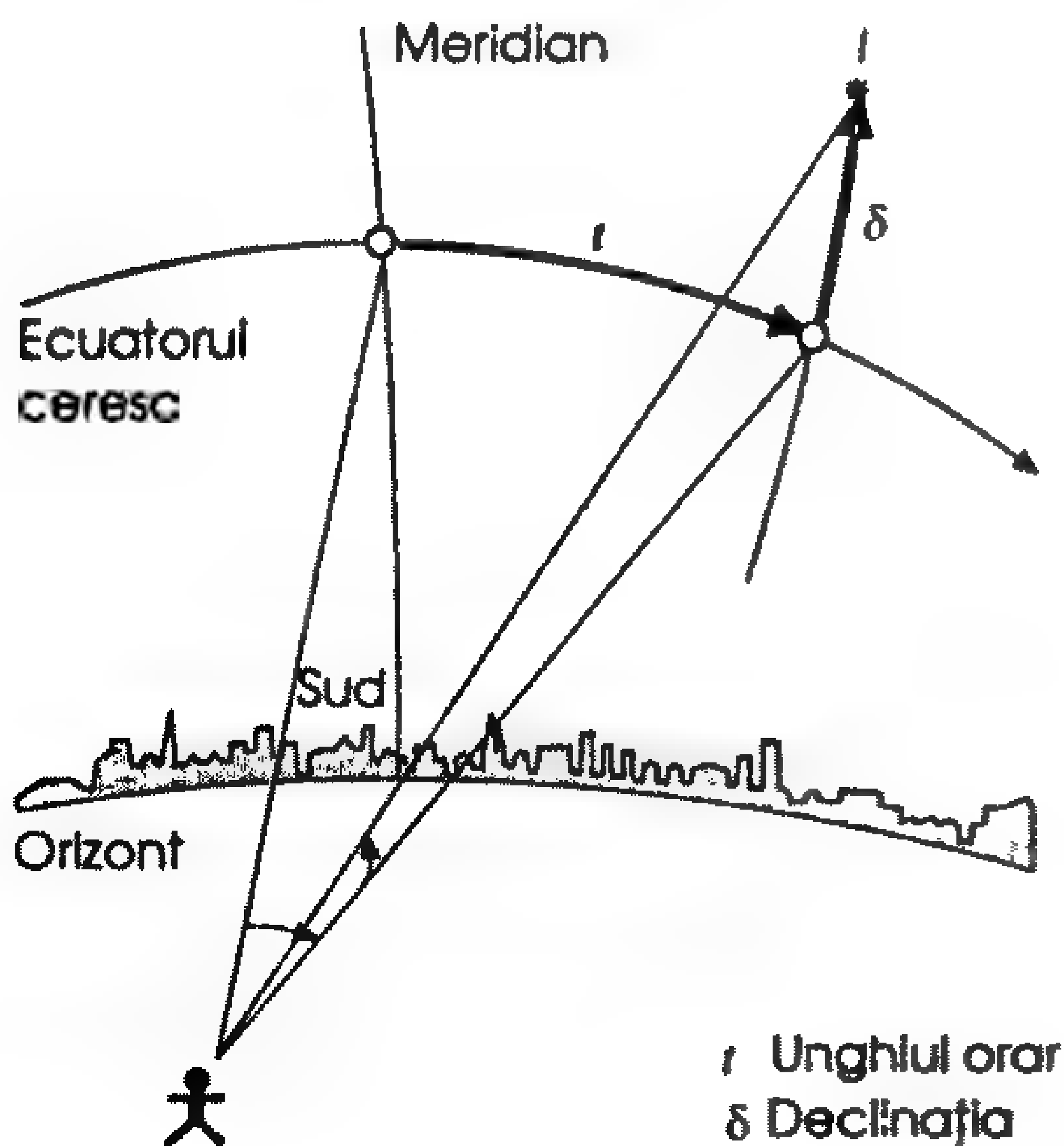
Declinația. Distanța unghiulară a stelei până la ecuatorul ceresc, măsurată pe cercul orar spre nord (în sens pozitiv) și spre sud (în sens negativ).

Declinația	Steaua se găsește la
0°	Ecuatorul ceresc
+90°	Polul nord ceresc
−90°	Polul sud ceresc

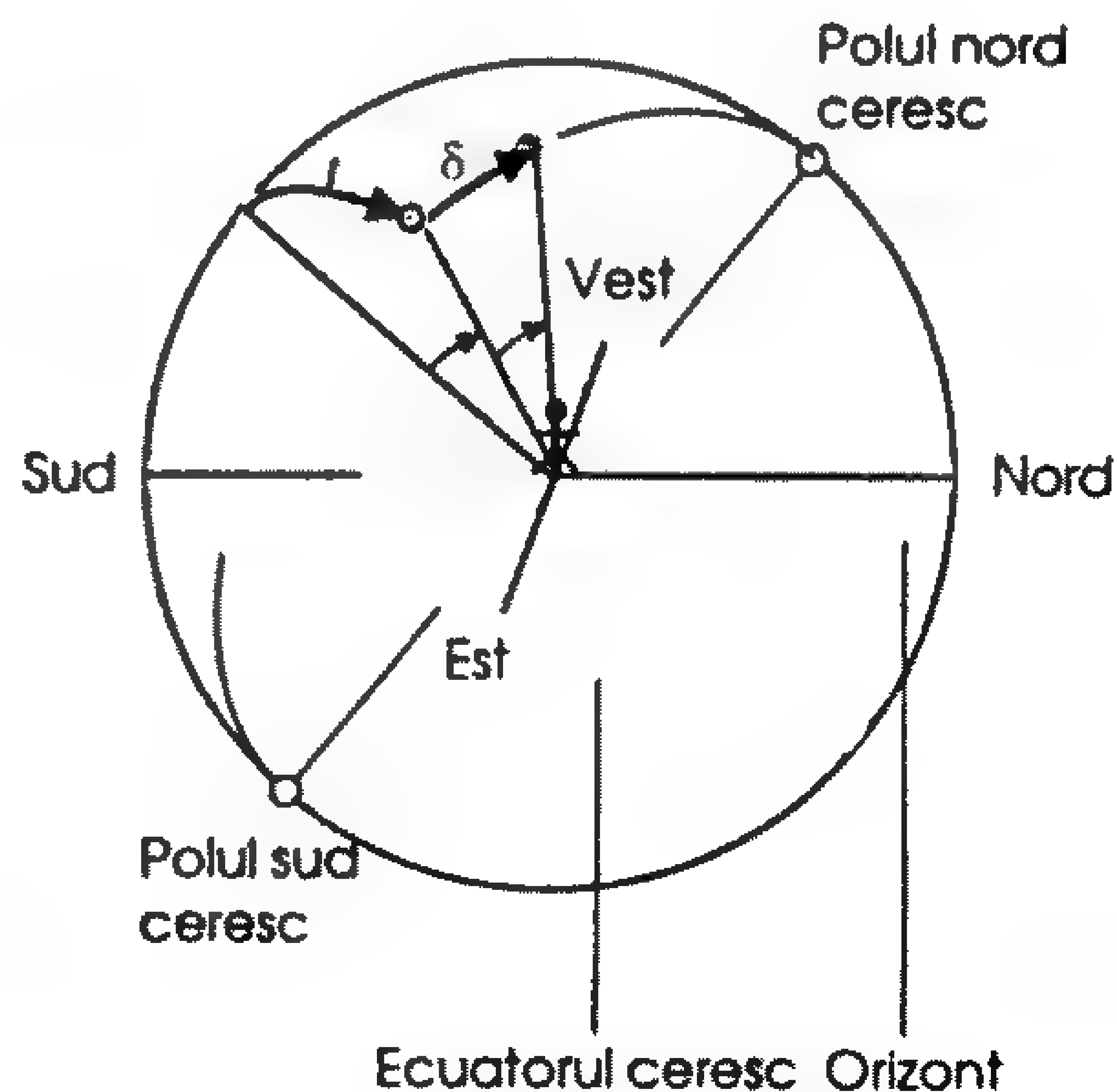
- Soarele are la începutul verii astronomice o declinație δ = +23,4°.

Cercul orar. Cel mai mare cerc de pe bolta cerească ce trece prin steaua respectivă și prin ambii poli cerești.

Unghiul orar. Unghiul dintre intersecția ecuatorului ceresc cu meridianul și intersecția ecuatorului ceresc cu cercul orar al stelei.
El este măsurat în timp (0^h până la 24^h) sau în grade (0° până la 360°) de la intersecția ecuatorului ceresc cu meridianul, spre vest.



Unghiul orar și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator aflat pe Pământ



Unghiul orar și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești

- Unghiul orar al unei stele măsoară în momentul culminației superioare 0° (0^h) și ia apoi toate valorile de la 0° la 360° (de la 0^h la 24^h) în decursul unei zile siderale.

Dependența de loc și de timp. În timpul mișcării zilnice aparente, unghiul solar este dependent de locul observației și de timp. Dimpotrivă, declinația unei stele nu este dependentă de nici una dintre ele.

↗ Timpul sideral, p. 38. ↗ Mișcarea zilnică a stelelor, p. 29 ↗ Precesia, p. 33.

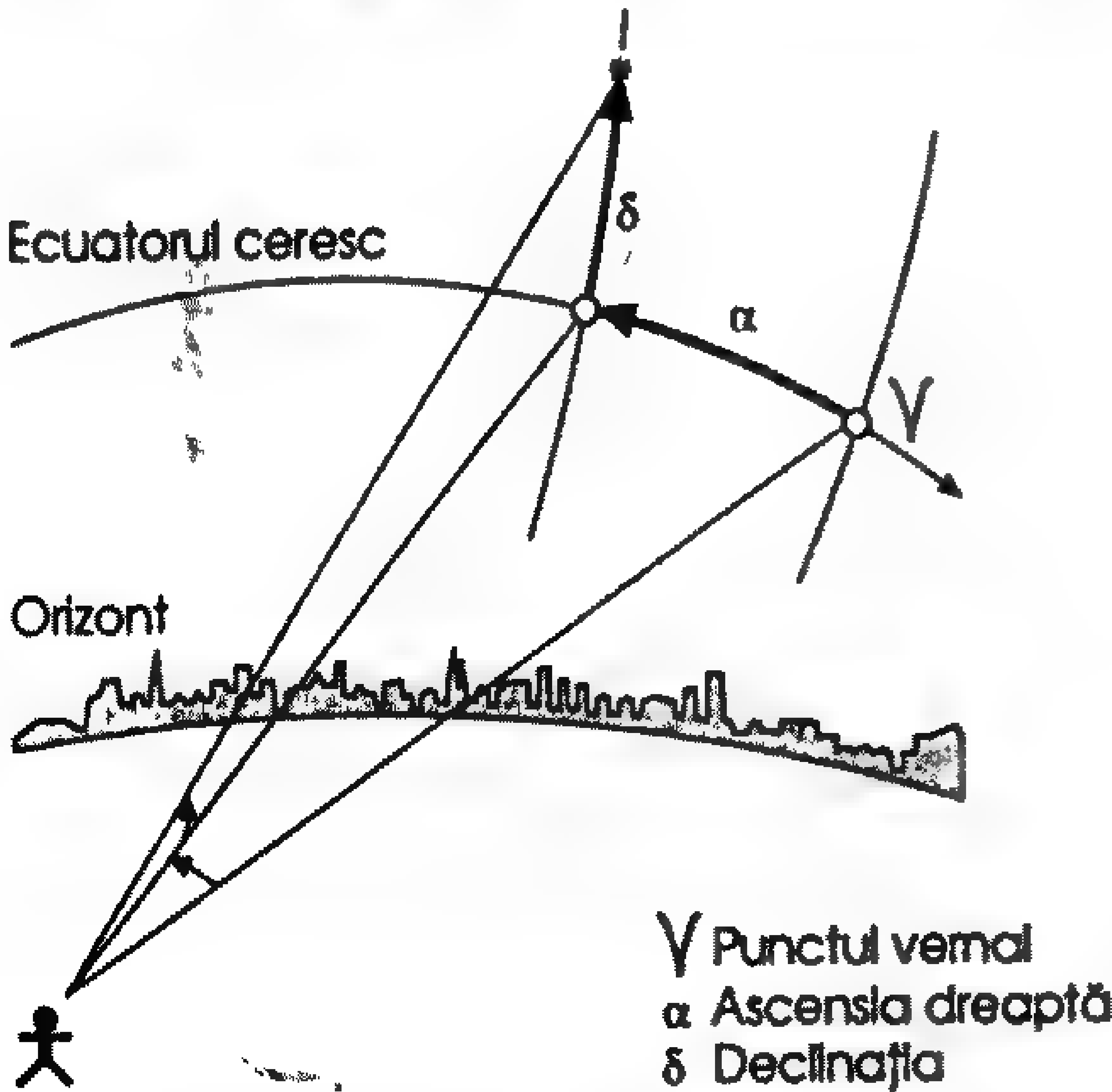
Coordonatele ecuatoriale

Cercul fundamental	Ecuatorul ceresc
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polii cerești
Unghiul de distanță	Declinația δ
Unghiul de direcție	Ascensia dreaptă α
Punctul de reper	Punctul vernal

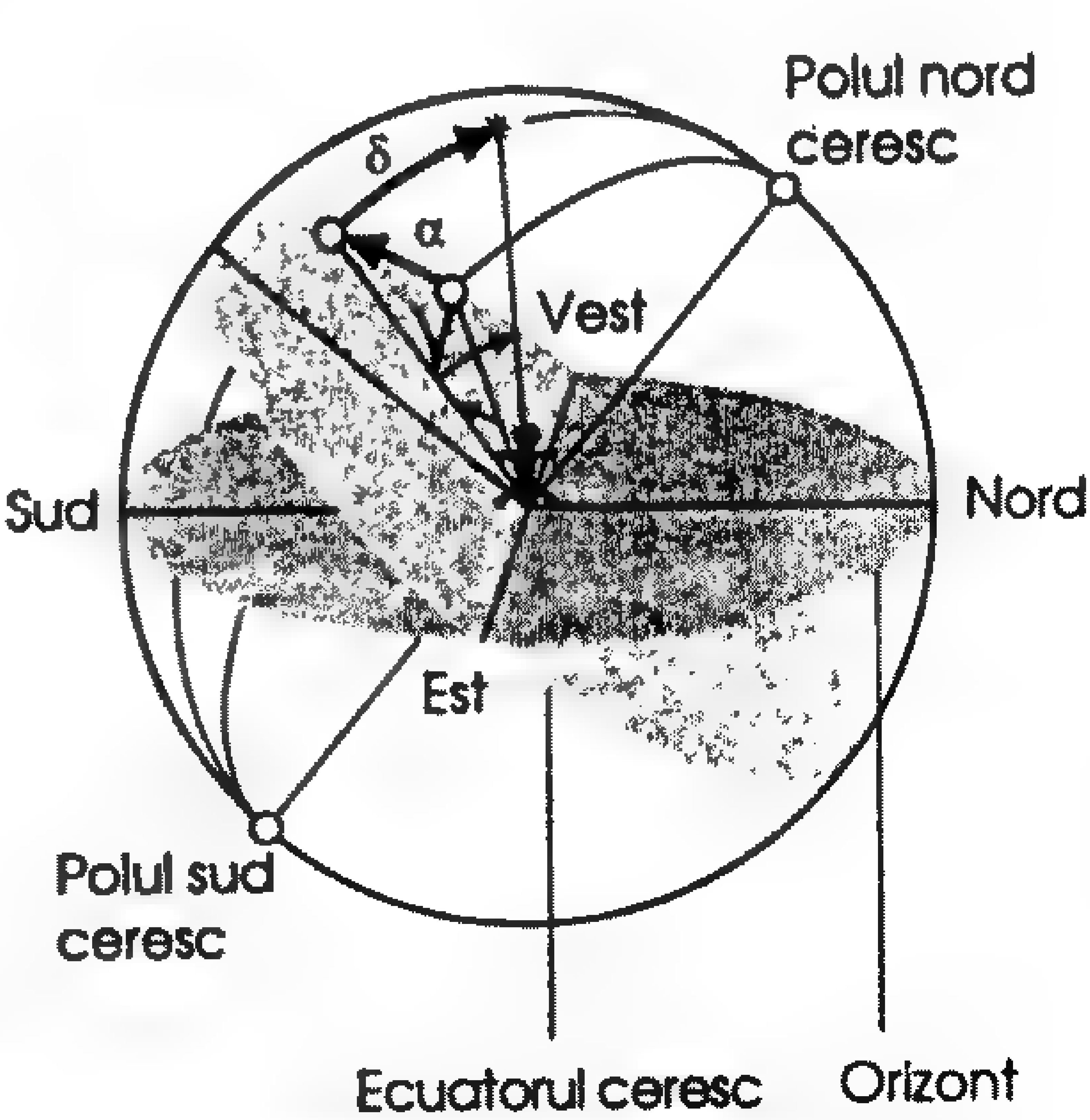
Rețeaua de coordonate a sistemului de coordonate ecuatoriale rezultă în urma proiecției rețelei de coordonate terestre (latitudinea și longitudinea geografică) pe sfera cerească; totuși, se folosește ca punct de reper al sistemului de coordonate ecuatoriale punctul vernal.

Declinația. Definiția și măsurarea ca și la coordonatele orare.

Ascensia dreaptă. Unghiul format între punctul vernal și intersecția dintre ecuatorul ceresc și cercul orar al stelei. Acesta se măsoară, în unități de timp (0^h până la 24^h), din punctul vernal, în sens contrar mișcării zilnice a sferei cerești.
Punctul vernal are coordonatele $\alpha = 0^h$, $\delta = 0°$.



Ascensia dreaptă și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator ce se găsește pe Pământ



Ascensia dreaptă și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator ipotetic plasat în exteriorul sferei cerești

Dependența de loc și de timp. Coordonatele „declinație" și „ascensia dreaptă" sunt independente de locul din care se face observația și de timp. De aceea, coordonatele ecuatoriale sunt preferate pentru întocmirea hărților și a atlaselor siderale.

↗ Precesia, p. 33. ↗ Hărți cerești, p. 28.

Coordonatele ecliptice

Cercul fundamental	Ecliptica
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polul nord ecliptic (în constelația Dragonul) Polul sud ecliptic (în constelația Peștele de Aur)
Unghiul de distanță	Latitudinea ecliptică β
Unghiul de direcție	Longitudinea ecliptică λ
Punctul de reper	Punctul vernal

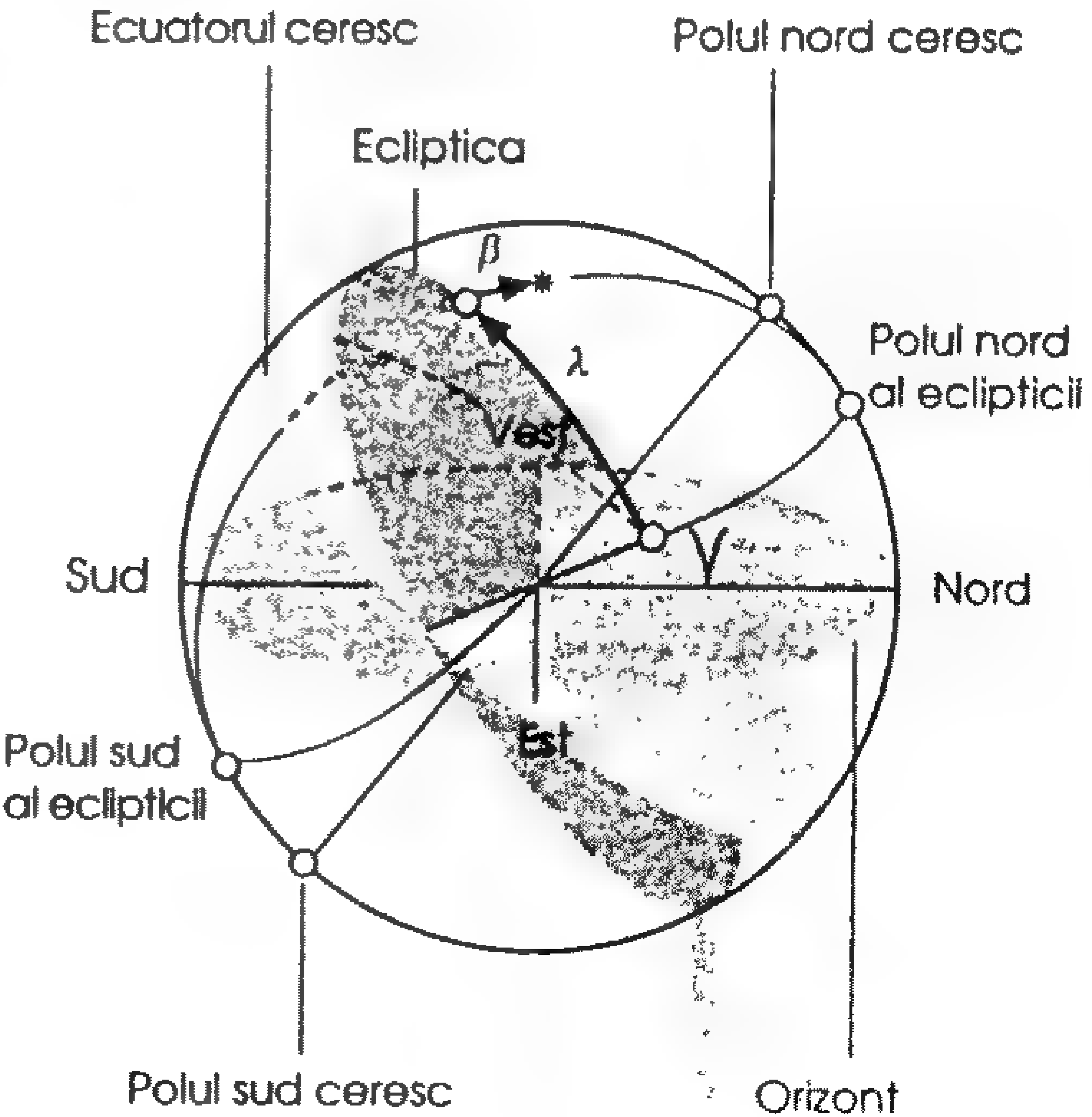
Coordonatele ecliptice sunt folosite în special pentru descrierea mișcărilor Soarelui, Lunii, planetelor, precum și a altor corpuri din Sistemul Solar.

Latitudinea ecliptică. Distanța unghiulară a stelei față de ecliptică, măsurată pe meridianul stelei spre nord (pozitiv) și spre sud (negativ).

Meridianul. Cel mai mare cerc de pe sfera cerească ce trece prin steaua respectivă și prin amândoi polii eclipticii.

Longitudinea ecliptică. Unghiul dintre punctul vernal și intersecția dintre ecliptică și meridianul stelei. El este măsurat în grade (de la 0° la 360°) în aceeași direcție ca și ascensia dreaptă.

↗ Ecliptica, p. 31.
↗ Precesia, p. 33.
↗ Coordonatele ecuatoriale, p. 44.



Longitudinea ecliptică și latitudinea ecliptică ale unei stele, din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești

Unghiul de direcţie	

↗ Coordonatele ecliptice, p. 45.

Coordonatele galactice

Descrierea poziţiei obiectelor aflate în Calea Lactee.

Cercul fundamental	Ecuatorul galactic
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polul nord al galaxiei (în constelaţia Părul Berenicei) Polul sud al galaxiei (în constelaţia Sculptorul)
Unghiul de distanţă	Latitudinea galactică (b)
Unghiul de direcţie	Longitudinea galactică (l)
Punctul de reper	Intersecţia ecuatorului galactic cu linia ce uneşte Soarele şi centrul galaxiei Calea Lactee (Acesta se află în constelaţia Săgetătorului)

Ecuatorul galactic. Cerc mare de pe sfera cerească definit ca intersecţia acesteia cu planul Căii Lactee. ↗Calea Lactee, p. 139.

asemenea, este adesea desemnat ca Sistemul Planetar. Sistemului Solar îi aparțin următoarele corpuri cerești:

Obiecte care fac parte din Sistemul Solar	
Corpuri cerești	Număr
Soare	1
Planete	9
Sateliți	aprox. 60
Planetoizi	aprox. 500 000
Comete	aprox. 10^{11}
Meteoriți	

Corpurile cerești care fac parte din Sistemul Solar au diferite diametre.

- Soarele nostru, cel mai mare corp ceresc al sistemului, are un diametru de aproximativ 1 392 000 km (109 diametre terestre). Diametrele planetelor sunt cuprinse între 4 900 km și 143 000 km (diametrul terestru este de circa 12 800 km). Diametrul Lunii măsoară aproximativ 3 470 km (aprox. 1/4 din diametrul terestru).

↗ Soarele, p. 99.

În spațiul dintre planete se află materie planetară. Aceasta este formată din particule de gaz, micrometeoriți, particule de praf. În afară de acestea, în Sistemul Solar există câmpuri gravitaționale, de radiație și magnetice.

↗ Meteoriți, p. 92.
↗ Materia interplanetară, p. 95.

Structura fizică a Sistemului Solar

Starea de agregare și forma obiectelor din Sistemul Solar. Se deosebesc:

Corpuri cerești sferice	
– în stare de agregare gazoasă	Soarele
– în stare de agregare lichido-gazoasă	planetele jupiteriene[1]
– în stare de agregare solidă	planetele terestre[2]
	majoritatea sateliților
	unii planetoizi

Corpuri cu formă neregulată	unii sateliţi majoritatea planetoizilor nucleele cometelor meteoriţi mai mari
Microparticule – din gaz – din praf	 vântul solar lumina zodiacală, micrometeoriţii
Câmpuri	câmpuri gravitaţionale câmpuri de radiaţie câmpuri magnetice
[1] Nucleul se află în stare de agregare solidă (combinaţii ale fierului şi siliciului). [2] Probabil interiorul este în parte lichid (ex. părţi ale mantalei superioare).	

↗ Soarele, p. 99.

Distribuţia masei în Sistemul Solar. Distribuţia masei pe obiecte de sine stătătoare aparţinând Sistemului Solar. Masa solară atinge $2 \cdot 10^{30}$ kg. Ea reuneşte aproape întreaga masă a sistemului (99,87%) şi formează centrul de gravitaţie. Acesta menţine laolaltă corpurile Sistemului Solar şi determină, în mod fundamental, mişcarea pe orbită a corpurilor cereşti. Forţele gravitaţionale generate de corpuri mai mici (ex. planetele) acţionează exclusiv ca perturbaţii.

↗ Legea gravitaţiei, p. 48.

Distribuţia masei în Sistemul Solar	
Grupe de obiecte	Masa terestră = 1
Soare Planete Sateliţi Planetoizi Comete	333 000 446,8 0,12 0,0004 0,1
Masă totală	aprox. 333 447 mase terestre

Legea gravitaţiei

Gravitaţia. Atracţia exercitată de mase – una dintre cele cinci forţe fizice fundamentale din natură şi proprietate generală a materiei. Toate corpurile exercită o forţă de atracţie corespunzătoare masei lor.

- Gravitaţia menţine masa unei stele, dar şi corpurile cereşti în cadrul unui sistem. Ea este cauza mişcării de rotaţie a planetelor în jurul Soarelui şi a mişcării stelelor duble în jurul centrului de greutate comun.

↗ Mişcarea heliocentrică, p. 50; ↗ Starea de echilibru a stelelor, p. 124; ↗ Stelele duble, p. 130.

Legea gravitaţiei a fost formulată de Newton. Matematic, ea este redată astfel:

$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	F = forţa gravitaţiei G = constanta gravitaţională m_1, m_2 = masele 1 şi 2 r = distanţa faţă de centrul de masă

Constanta gravitaţională este o importantă constantă astronomică.

$G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}\ m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$

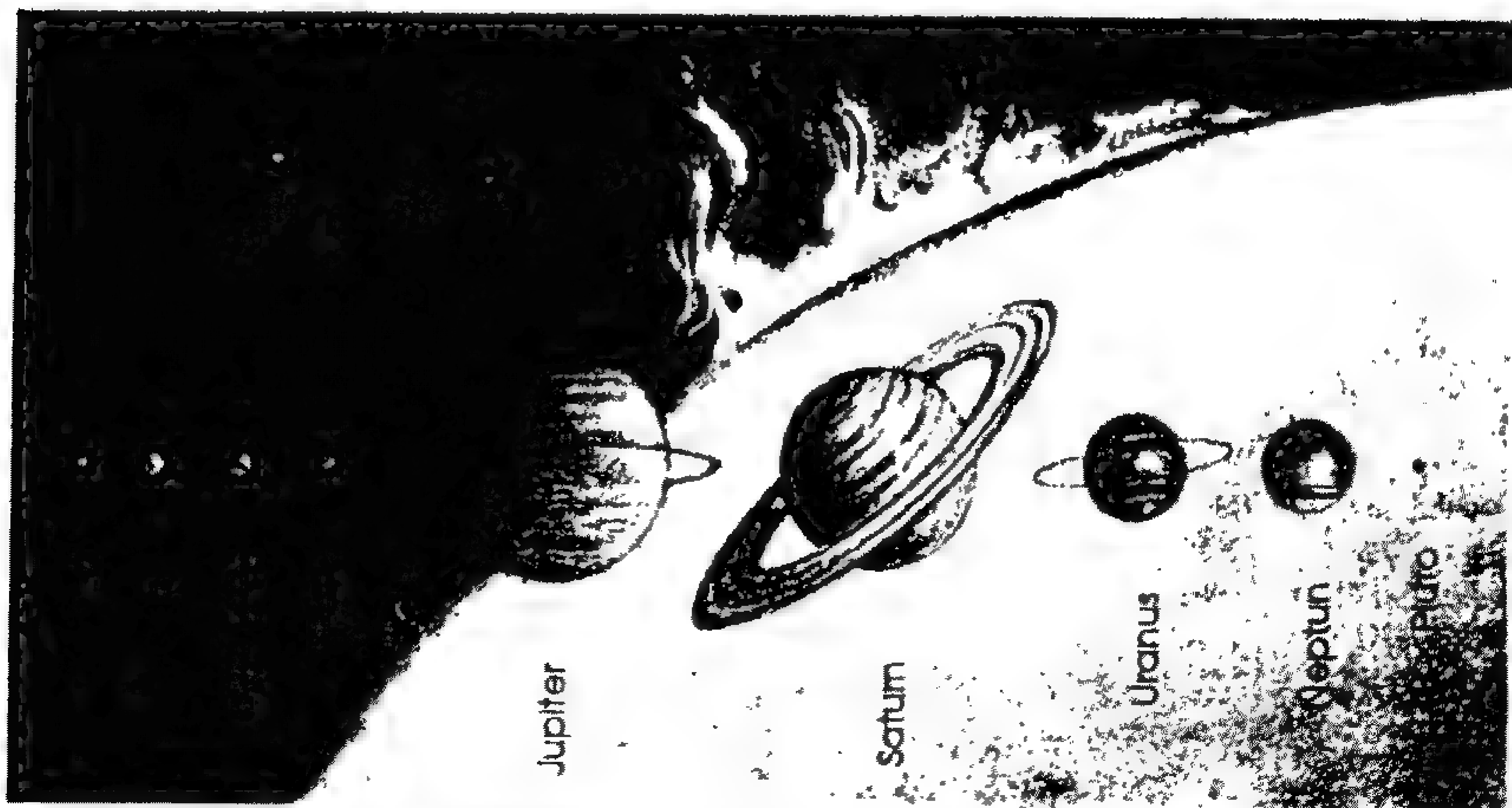
Legea gravitaţiei constituie baza, în mecanica cerească, pentru calcularea orbitelor corpurilor cosmice şi a sateliţilor artificiali.

↗ Descoperirea gravitaţiei, p. 173.

PLANETELE

Planetele

Corpuri cereşti de mari dimensiuni, având formă sferică şi care se rotesc conform legilor lui Kepler pe orbite elipsoidale în jurul Soarelui; sunt luminate de acesta şi strălucesc datorită reflectării luminii solare. În Sistemul Solar sunt cunoscute nouă planete. Se presupune că şi în jurul altor stele se rotesc planete.



Mărimea planetelor în comparaţie cu mărimea Soarelui

După distanţa lor faţă de Soare, planetele, în raport cu Pământul, sunt împărţite în planete interne (situate între Pământ şi Soare) şi planete externe (situate dincolo de orbita terestră).

Numele planetei	Simbol astronomic	Denumire dată în raport cu poziția orbitei față de Pământ
Mercur Venus	☿ ♀	planete interne (denumite și planete inferioare)
Pământ	♁	
Marte Jupiter Saturn Uranus Neptun Pluto	♂ ♃ ♄ ⛢ ♆ ♇	planete externe (denumite și planete superioare)

Mișcările heliocentrice

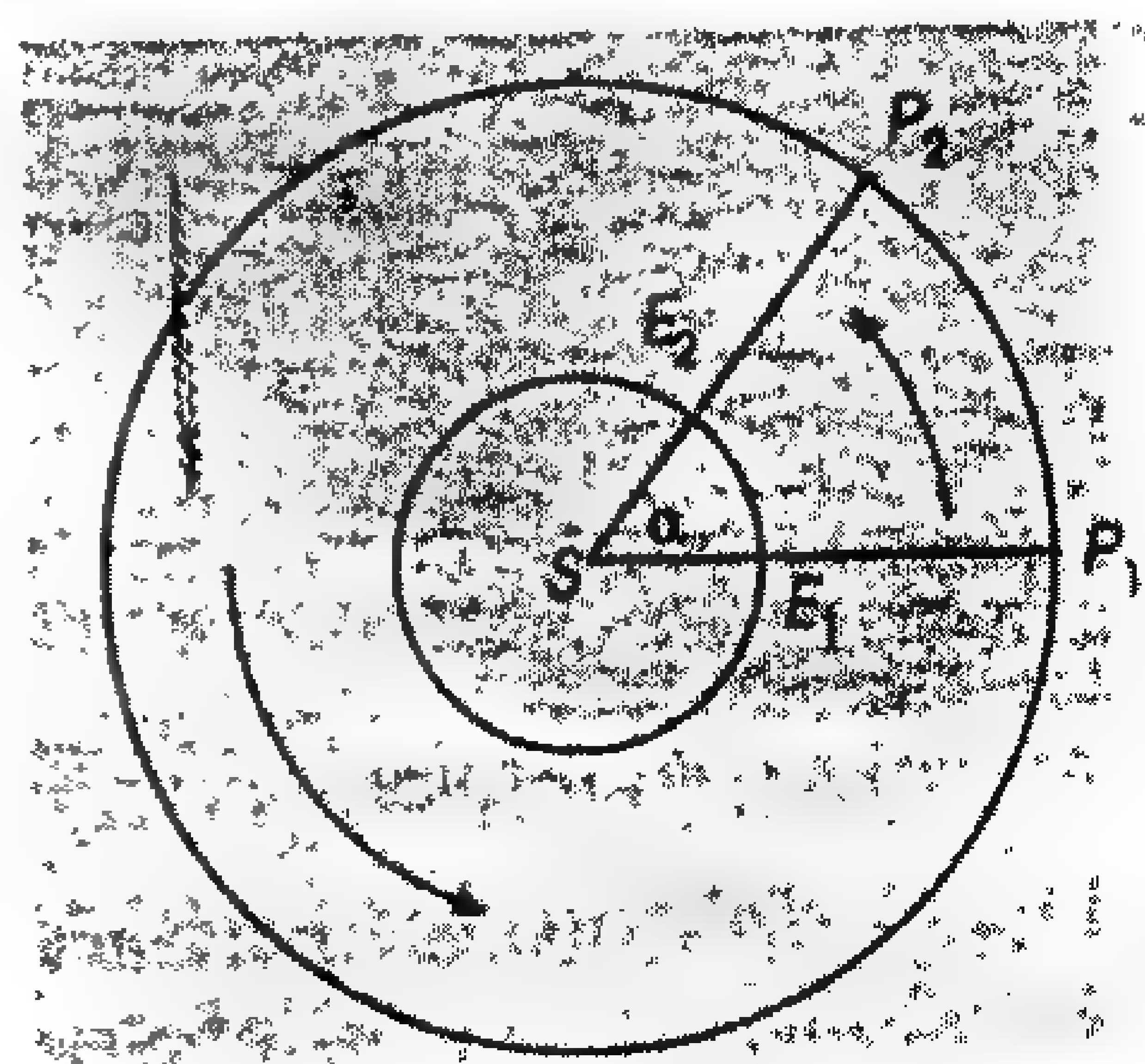
Mișcările planetelor pe orbite în jurul Soarelui, conform legilor lui Kepler. Mișcările pe bolta cerească au loc de regulă de la vest la est și sunt desemnate a fi dextrogire. ↗Legile lui Kepler, p. 54.

Perioada de revoluție. Perioada de timp în care planeta descrie o rotație completă în jurul Soarelui. Perioada de revoluție siderală *(U)* este durata de timp după care o planetă, din punctul de vedere al unui observator ipotetic aflat pe Soare, revine la poziția inițială pe bolta cerească.
Perioada de revoluție sinodică *(S)* este perioada de timp scursă între două conjuncții sau două opoziții între Soare, Pământ și planete.
↗Constelațiile, p. 53.

Perioada de revoluție siderală nu poate fi măsurată direct de pe Pământ. Ea poate fi calculată însă din perioada de revoluție sinodică. Perioada de revoluție siderală, după cea de-a treia lege a lui Kepler, este în relație cu semiaxa mare a orbitei.

Relația dintre perioada de revoluție siderală și perioada de revoluție sinodică a unei planete.

SE_1P_1 este o poziție de opoziție a unei planete exterioare cu Soarele, iar SE_2P_2 este poziția consecutivă. În timpul scurs între aceste opoziții, planeta P a parcurs arcul P_1P_2, pe când pământul E a descris o rotație completă și a parcurs, în plus, arcul E_1E_2. Notându-se cu α unghiul care subîntinde arcele P_1P_2 și E_1E_2, se obține pentru planetă $\alpha : 360^0 = S : U$, iar pentru Pământ $(360^0 + \alpha) : 360^0 = S : I$, unde I este perioada de revoluție a Pământului.



De aici se obțin următoarele ecuații:

$$S=\frac{I\cdot U}{I-U}$$
(pentru planete interne)

$$S=\frac{U\cdot I}{U-I}.$$
(pentru planete externe)

[illegible] de revoluție și viteza pe orbită a planetelor			
Numele planetei	Perioada de revoluție		Viteza orbitală medie în $km \cdot s^{-1}$
	siderală în zile	sinodică în zile	
Mercur	87,97	115,9	47,90
Venus	224,70	583,9	35,05
Pământ	365,26	–	29,80
Marte	686,98	779,9	24,12
Jupiter	4 332,59	398,9	13,06
Saturn	10 759,21	378,1	9,65
Uranus	30 685,40	369,6	6,80
Neptun	60 189,00	367,5	5,43
Pluto	90 465,00	366,7	4,74

Șirul Titius–Bode

Ecuații empirice datorate lui J. P. Titius și J. E. Bode, cu ajutorul cărora poate fi calculată distanța medie aproximativă (a) a planetelor față de Soare. Nu a fost încă stabilit dacă este vorba despre o lege sau despre un fenomen întâmplător în Sistemul Solar.

[illegible]	[illegible] număr atribuit planetelor	Distanța (a) în UA	
		Distanța calculată	Distanța observată
Mercur	∞	0,4	0,39
Venus	0	0,7	0,70
Pământ	1	1,0	1,00
Marte	2	1,6	1,52
Planetoizi	3	2,8	2,90
Jupiter	4	5,2	5,20
Saturn	5	10,0	9,54
Uranus	6	19,6	19,18
Neptun[1]	7	38,8	30,06
Pluto[1]	8	77,2	39,44

[1] orbitele planetelor Neptun și Pluto nu corespund satisfăcător acestei relații.

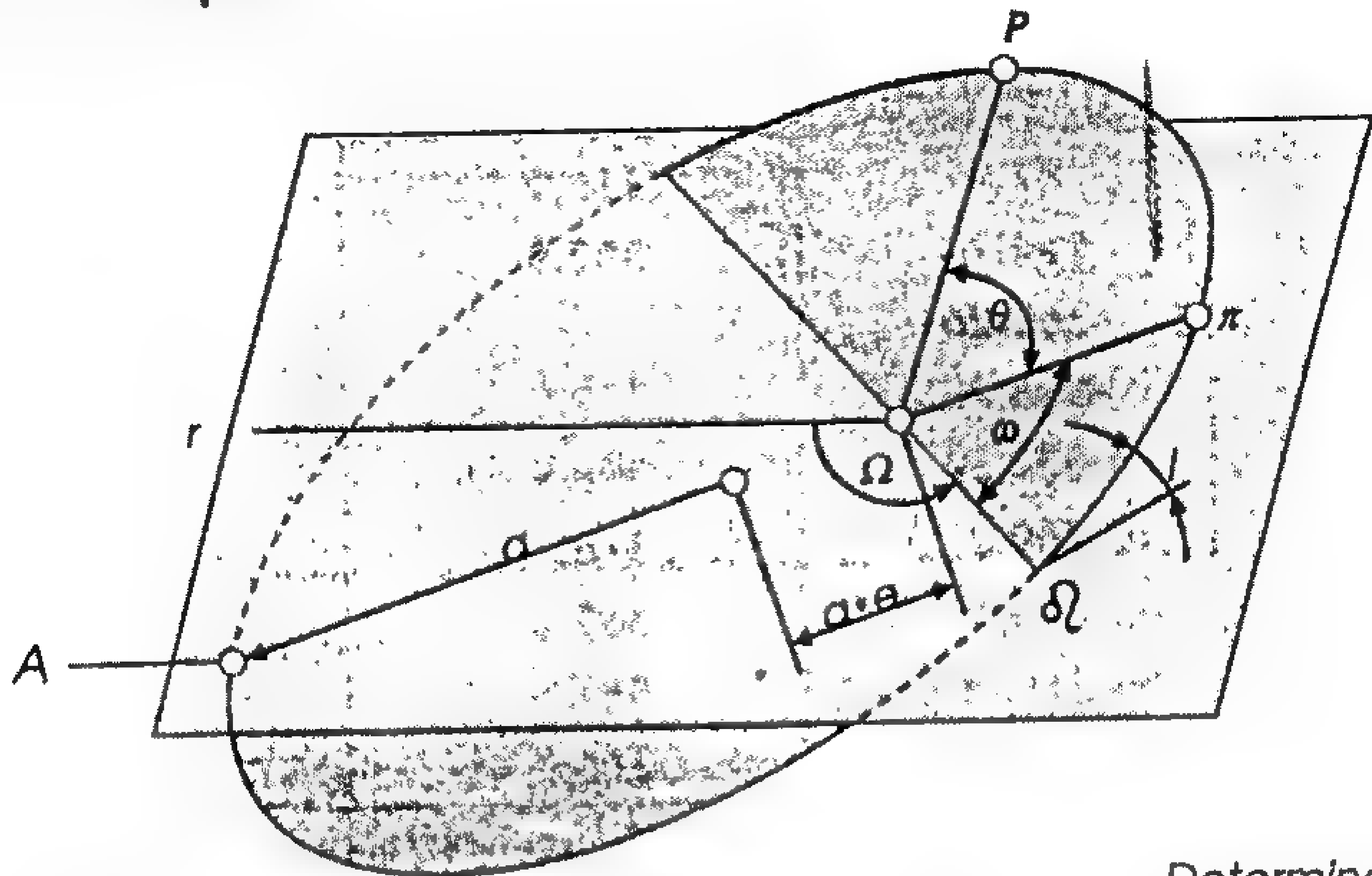
Distanța planetelor față de Soare este calculată după următoarea ecuație:

$$a = 0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^n$$

Golul inițial existent între Marte și Jupiter a fost umplut prin descoperirea planetoizilor, pentru care corespunde numărul 3.

Elementele orbitei

Orbita unei planete (sau a Lunii, respectiv a altor sateliți) este determinată în mod clar de șase elemente.



Determinarea orbitei

Pentru calcule sunt folosite următoarele mărimi:

a – lungimea semiaxei mari (distanța medie față de Soare, respectiv mărimea orbitei);

i – înclinația orbitei față de planul eclipticii;

Ω – longitudinea nodală (orientarea orbitei față de punctul vernal);

ω – distanța nodului ascendent față de periheliu (orientarea elipsei orbitei în planul orbitei);

ε – excentricitatea orbitei (descrierea formei orbitei);

T – timpul la periheliu (momentul trecerii corpului ceresc prin periheliu; de aici poate fi calculată poziția momentană a obiectului pe orbită).

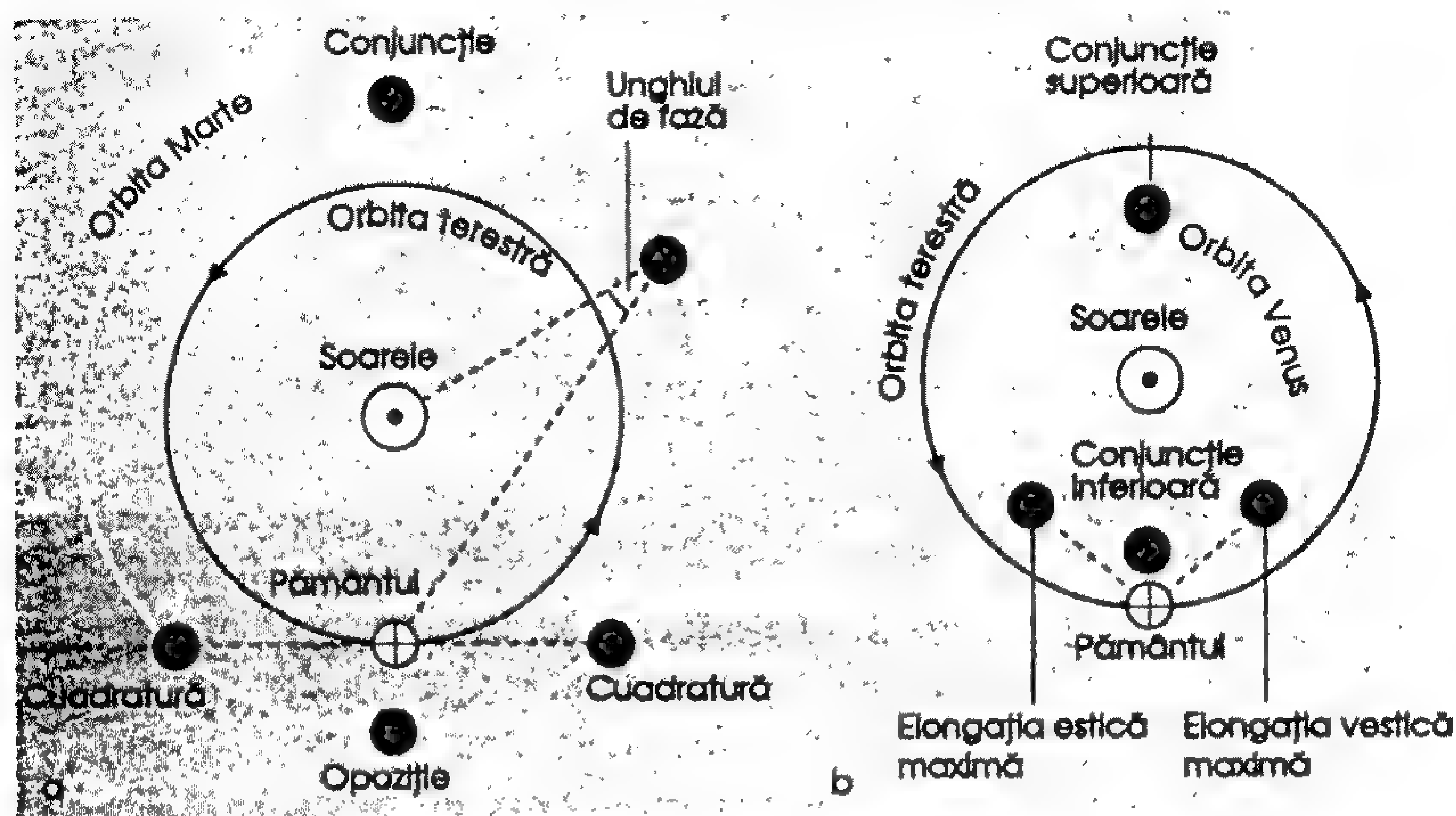
O determinare a orbitei se obține din trei observații diferite.

[illegible]

Planetă	Distanța medie față de Soare (semiaxa mare) în UA	Excentricitatea orbitei în °	Înclinația față de ecliptică în ° și ′	Lungimea	
				nodului ascendent în ° (2000)	periheliului
Mercur	0,39	0,2056	7°	48	77
Venus	0,72	0,0068	3°23′	76	131
Pământ	1,00	0,0167	0°	125	103
Marte	1,52	0,0934	1°50′	49	136
Jupiter	5,20	0,0482	1°18′	100	14
Saturn	9,54	0,0553	2°29′	113	93
Uranus	19,27	0,0474	0°46′	74	170
Neptun	30,20	0,0104	1°46′	132	44
Pluto	39,84	0,2476	17°9′	110	223

Mişcările geocentrice

Mişcările aparente ale unei planete pe sfera cerească, din punctul de vedere al unui observator terestru. Ele sunt urmări ale mişcării heliocentrice a Pământului şi planetelor. Relativ la Soare, pentru un observator de pe Pământ, o planetă poate apărea în diferite poziţii pe boltă.



Orbita: a) a unei planete externe (Marte); b) a unei planete interne (Venus)

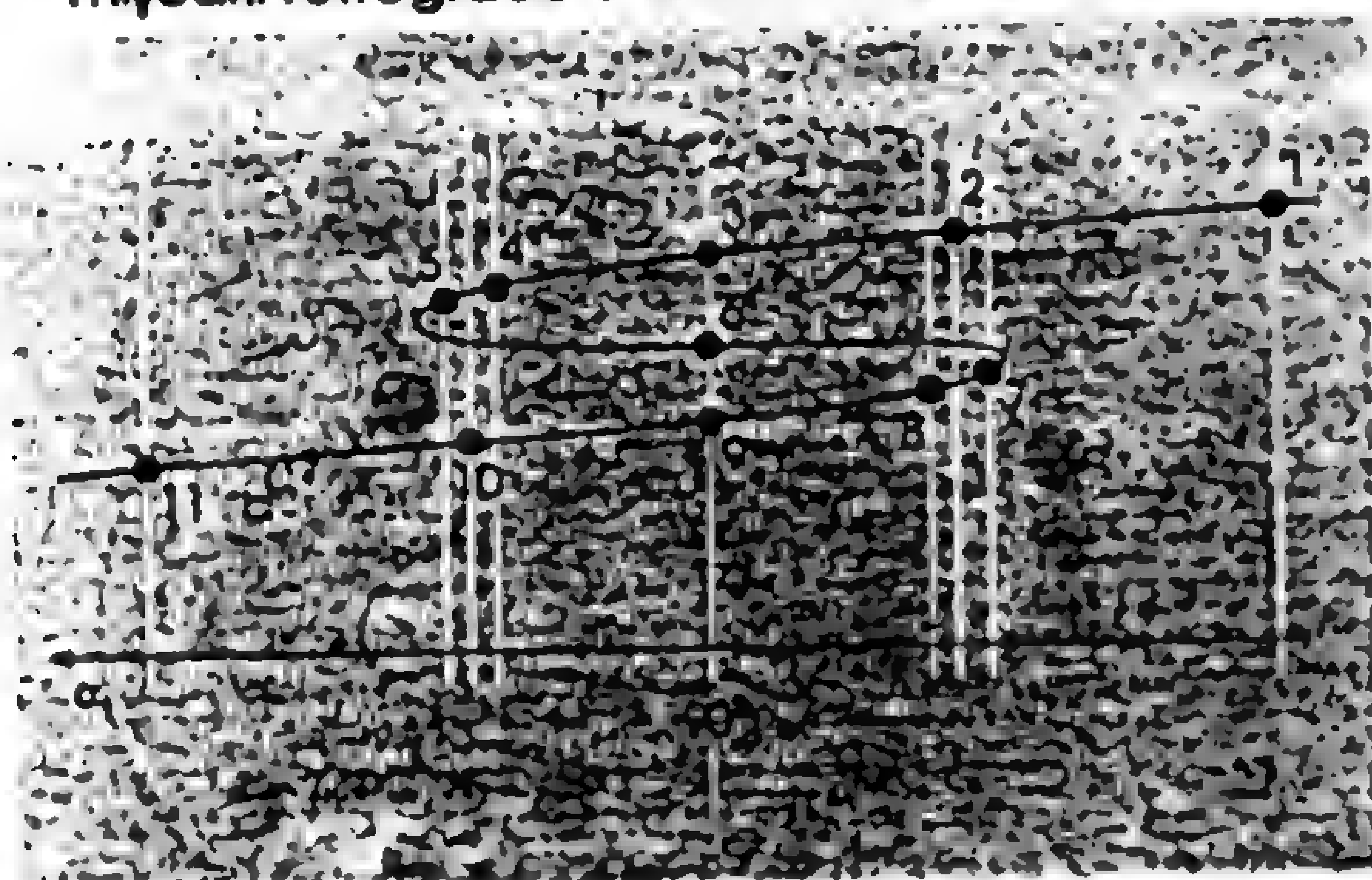
- Poziţiile rarisime ale stelelor au stat de-a lungul timpului în atenţia astrologilor. Aşa s-a întâmplat, spre exemplu, cu steaua de la Bethlehem, desigur o foarte rară opoziţie între Jupiter şi Saturn, aflate în momentul naşterii lui Iisus Hristos (7 î. Hr.) în constelaţia Peştilor. Această poziţie astronomică a fost interpretată de către Matei în Evanghelia sa drept naşterea regelui iudeilor, întrucât Jupiter trecea drept stea regală, iar Saturn drept stea a evreilor.

Vizibilitatea planetelor. În timpul opoziţiei, planetele externe sunt vizibile întreaga noapte, în timp ce la conjuncţie rămân invizibile.
Planetele interne au doar o mică distanţă unghiulară faţă de Soare. Elongaţia lor maximă estică sau vestică (diferenţa în longitudine ecliptică între Soare şi o planetă) măsoară pentru Mercur cel mult 27^0, iar pentru Venus cel mult 47^0. De aceea, aceste planete pot fi observate, în general, doar seara, în emisfera cerească vestică, sau dimineaţa, în emisfera cerească estică.

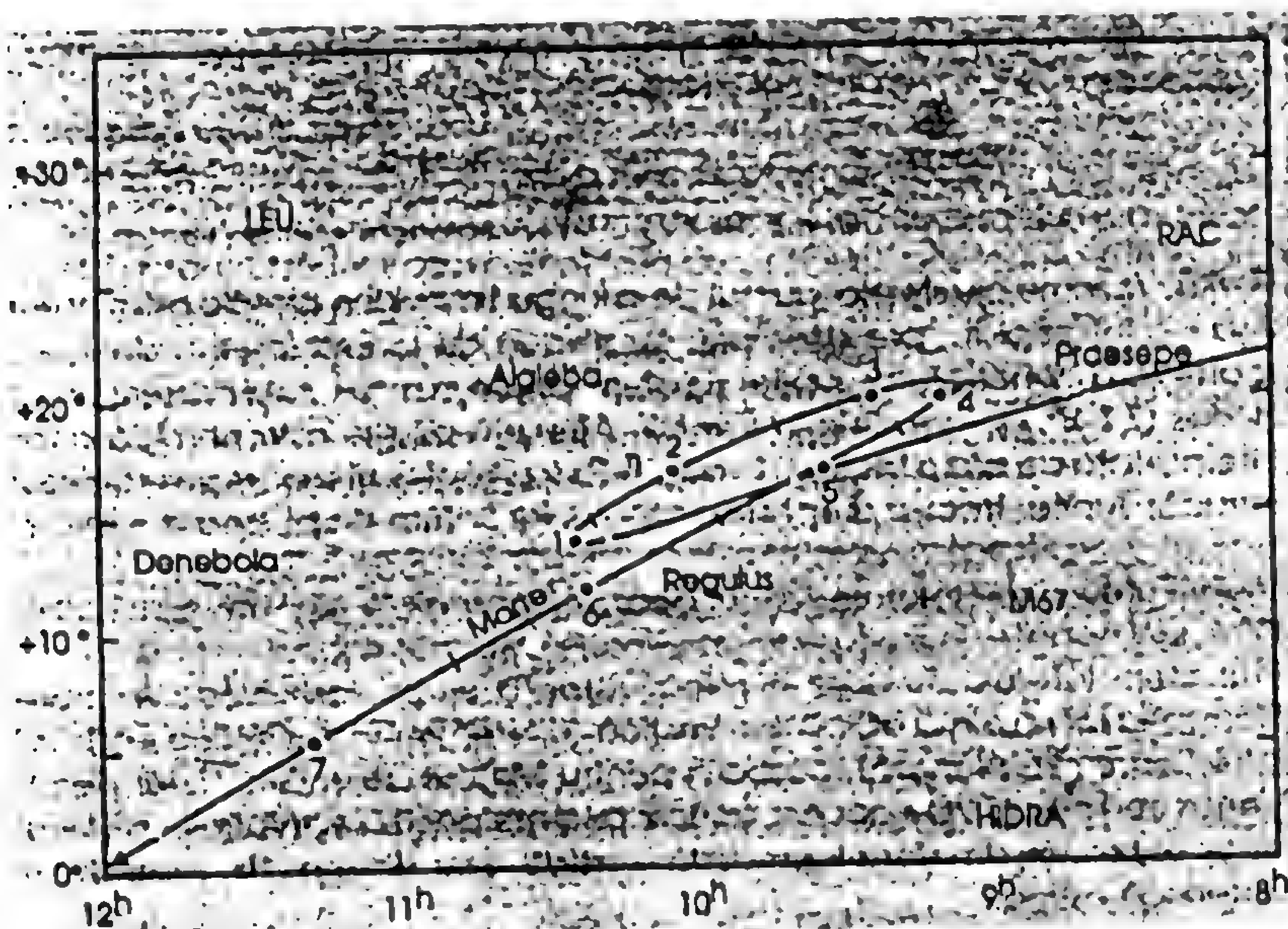
- În elongaţie estică, Venus este vizibil pentru noi în partea de apus a bolţii cereşti ca „luceafărul de seară", iar în elongaţie vestică, în partea de răsărit, ca „luceafărul de dimineaţă".

Buclele orbitelor planetare. Pentru un observator aflat pe Pământ, planetele se mişcă, în general, rectiliniu, adică de la vest la est, străbătând constelaţiile zodiacului. Datorită vitezei unghiulare inconstante a planetei, se ajunge la faze de depăşire a planetei respective de către Pământ. Când acesta

depășește o planetă externă mai lentă, adică în momentul opoziției, atunci respectiva planetă se mișcă pentru un anumit timp retrograd. Datorită înclinației orbitei reale a planetei față de eclipsă, orbita planetei ia în timpul mișcării retrograde o formă buclată, mai mult sau mai puțin pronunțată.



Traiectoria sub formă de buclă a unei planete



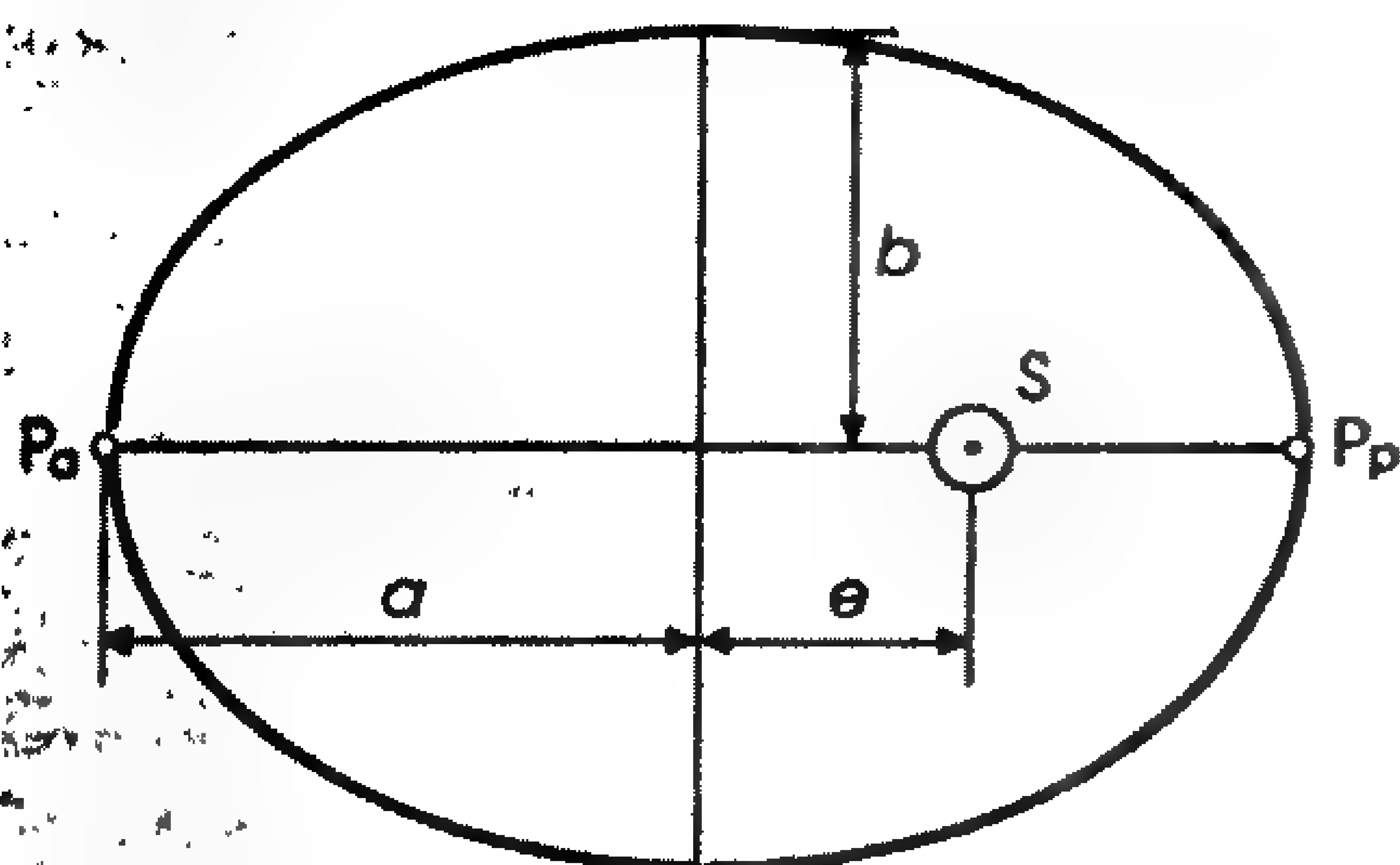
Mișcarea observată a planetei Marte în anii 1994-1995

Legile lui Kepler

Johannes Kepler a formulat trei legi asupra mișcării neperturbate a planetelor în jurul Soarelui. Acestea sunt valabile pentru orice mișcare a unui corp cu o masă relativ mică în câmpul gravitațional al unui corp cu o masă relativ mare (ex. pentru mișcarea unui satelit sau a unui corp artificial în jurul unei planete).

Prima lege a lui Kepler

Orbitele planetelor sunt elipse care au Soarele în unul din focare.



S – Soarele
P_a – afeliu, cea mai îndepărtată poziție față de Soare a planetei
P_p – periheliu, cea mai apropiată poziție față de Soare a planetei
a – semiaxa mare
b – semiaxa mică
e – excentricitate lineară
$e^2 = a^2 - b^2$
excentricitatea numerică $\varepsilon = e/a$

Prima lege a lui Kepler

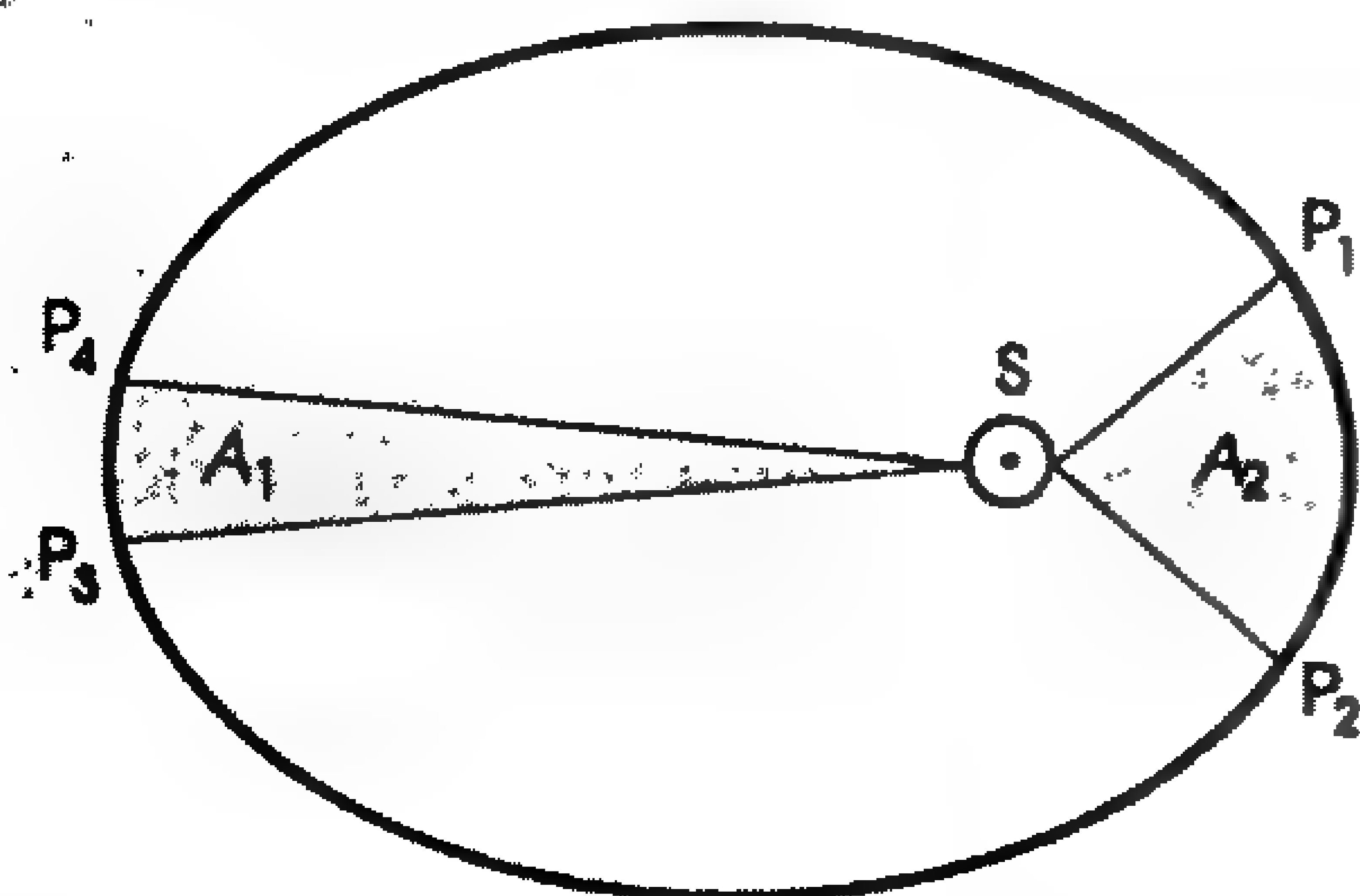
Distanța la periheliu = $P_pS = a - e = a(1 - \varepsilon)$;
Distanța la afeliu = $P_aS = a + e = a(1 + \varepsilon)$.

În astronomie, elipsa este caracterizată de mărimile a și e. Din prima lege a lui Kepler se deduce că planetele, în timpul rotației în jurul Soarelui, își schimbă permanent distanța față de corpul central.

■ Distanța medie Pământ – Soare (semiaxa mare a orbitei terestre) poartă numele de unitate astronomică – UA (1 UA = $149{,}6 \cdot 10^6$ km). Cea mai mică depărtare a Pământului față de Soare este de $147{,}1 \cdot 10^6$ km (periheliu, în ianuarie), iar cea mai mare de $152{,}1 \cdot 10^6$ km (afeliu, începutul lui iulie). ↗ Unități de distanță, p. 111; ↗ Elementele orbitei, p. 52.

A doua lege a lui Kepler (legea dependenței vitezei orbitale a planetei în funcție de distanța față de Soare)

Raza vectoare Soare – Planetă mătură în perioade egale de timp suprafețe egale.



Când $A_1 = A_2$, atunci planeta parcurge distanța P_1P_2 în același timp ca și distanța P_3P_4. De aici se deduce că viteza orbitală a planetei la periheliu (punctul cel mai apropiat de Soare) este mai mare decât viteza înregistrată la afeliu (punctul cel mai depărtat de Soare).

A doua lege a lui Kepler

- Viteza orbitală a Pământului este de 29,3 km/s la afeliu și de 30,3 km/s la perihellu. Semestrul de iarnă este în emisfera nordică a Pământului mai scurt decât semestrul de vară, diferența fiind de 7,6 zile. Prin existența unei forțe centrale, cea de a doua lege a lui Kepler trece drept legea ariilor. În câmpul gravitațional al unei forțe poate fi calculată suprafața măsurată de raza vectoare.

Pentru
A - suprafața măsurată,
D - impulsul de rotație al corpului care se rotește în jurul Soarelui,
t - timpul,
m - masa corpului care se rotește,

avem relația: $$A = D\frac{t}{2m}.$$

Întrucât *D* și *m* sunt constante, atunci există relația $A \sim t$.
↗ Orbitele corpurilor cerești artificiale, p. 57.
↗ Orbitele cometelor, p. 91.
↗ Legea gravitației, p. 48.

A treia lege a lui Kepler (legea relației dintre mărimea orbitei și perioada de revoluție)

Pătratele perioadelor de revoluție a două planete sunt proporționale cu cuburile semiaxelor mari ale orbitelor lor.	
$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ din care rezultă $\frac{T^2}{a^3} = constant$	T_1, T_2 – perioadele de revoluție ale planetelor 1 și 2 a_1, a_2 – semiaxele mari ale orbitelor planetelor 1 și 2

Din cea de a treia lege a lui Kepler rezultă că viteza orbitală scade o dată cu depărtarea față de Soare.
În forma de mai sus, legea se aplică riguros numai atunci când masa corpului central (ex. Soarele) este foarte mare în raport cu masele corpurilor care se rotesc în jurul său (ex. planetele). Mișcarea unei planete depinde nu doar de forța de atracție gravitațională a Soarelui, ci și de influențele gravitaționale ale altor mase planetare, de care trebuie să se țină seama.
În plus, se folosesc următoarele ecuații:
Dacă
G – constanta gravitațională ($G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ m³/kg·s²),
T_1, T_2 – perioadele de revoluție ale planetelor,
a_1, a_2 – semiaxele mari ale orbitelor,

$m_\odot$ – masa solară,
m_1, m_2 – masele planetelor,

atunci $$\frac{T_1^2(m_\odot + m_1)}{T_2^2(m_\odot + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

respectiv, pentru o singură planetă $$\frac{T_1^2(m_\odot + m_1)}{a_1^3} = \frac{4\pi^2}{G}.$$

↗ Mişcarea heliocentrică, p. 50; ↗ Orbitele corpurilor cereşti artificiale, p. 57; ↗ Legea gravitaţiei, p. 48; ↗ Formularea legilor planetelor, p. 173.

Calcularea orbitelor pentru corpurile cereşti artificiale

Legile mecanicii cereşti sunt fundamentale pentru calcularea orbitelor sateliţilor artificiali, a staţiilor orbitale şi a altor corpuri artificiale. Principalele probleme pentru zborurile cosmice sunt învingerea forţei de atracţie a corpurilor cereşti şi dezvoltarea energiei necesare acestui corp.

Viteza orbitală

Viteza atinsă de obiectele spaţiale după stingerea propulsoarelor ultimei trepte a rachetelor purtătoare, relativă la corpul ceresc de pe orbita cărora ies (ex. Pământ, Lună, planetă), respectiv în al cărui câmp gravitaţional se mişcă.

Forma orbitei. Este determinată de viteza orbitală a corpului spaţial.



Forma orbitei

Viteza pe orbita circulară (v_c). Mişcarea unui corp ceresc artificial pe o traiectorie închisă, la o înălţime constantă în jurul unui centru de gravitaţie (ex. Pământul). Viteza pe orbita circulară poate fi calculată cu ajutorul următoarei ecuaţii:

$v_c = \sqrt{r \cdot g}$	r = raza Pământului g = acceleraţia gravitaţională la suprafaţa Pământului (9,81 m/s²)

Viteza pe orbita circulară este dependentă de înălţimea orbitei corpului ceresc artificial. Pentru o orbită plasată exact deasupra suprafeţei terestre ($H = 0$), $v_c = 7{,}912$ km/s.

Perioada de revoluție a acestui corp este de 84,4 min. Ea este desemnată ca viteza orbitală minimă. Totuși, această situație nu poate fi întâlnită niciodată în practică.

Viteza pe orbita circulară (v_c), perioada de revoluție (P) și înălțimea (H) ale unui corp ceresc artificial

Înălțimea orbitei H (în km)	Viteza pe orbita circulară v_c (în km/s)	Perioada de revoluție P în ore	și minute
200	7,79	1	28
500	7,63	1	34
1000	7,36	1	45
1500	7,13	1	56
2000	6,91	2	07
3000	6,53	2	31
5000	5,92	3	22
10000	4,94	3	48
20000	3,90	11	49
35900	3,07	24	00 (satelit geostaționar)
50000	2,66	36	53

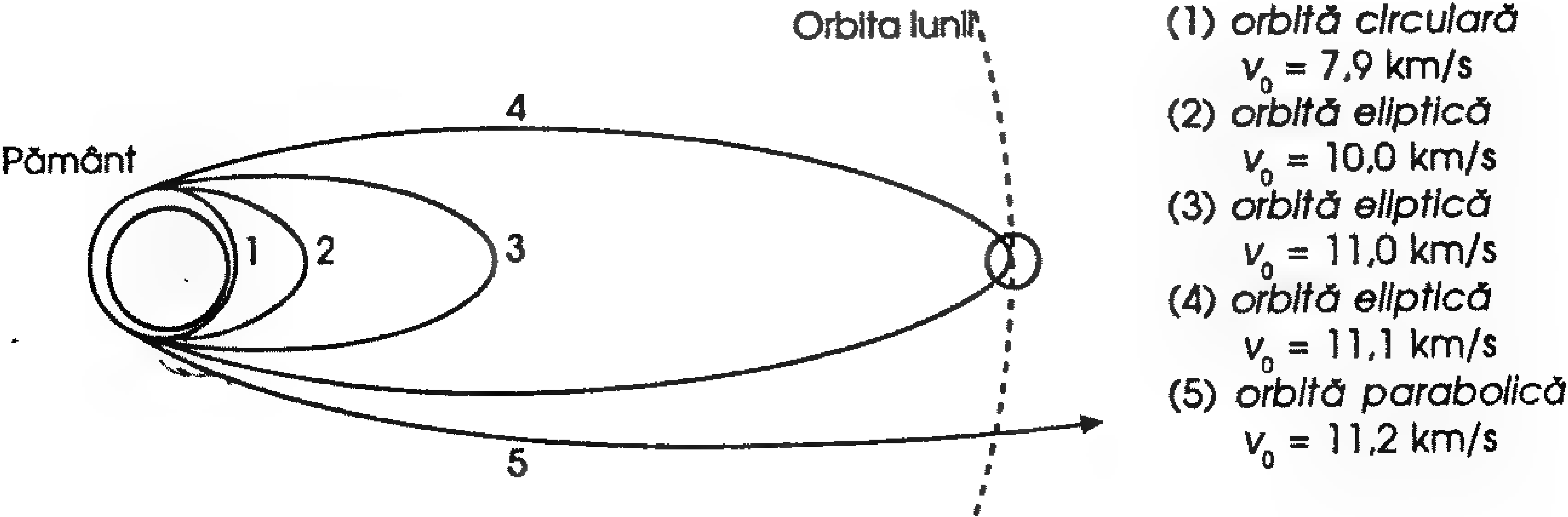
Pentru viteze mai mici sau mai mari decât viteza pe orbita circulară se obțin orbite elipsoidale.

Viteza de evadare (v_e). Viteza necesară unei rachete pentru a părăsi câmpul gravitațional al unui corp ceresc, respectiv al unui sistem cosmic.

Viteza pe orbita parabolică (v_p). Viteza trebuie să fie cu 1,414 ($=\sqrt{2}$) mai mare decât viteza pe orbita circulară a unui corp ceresc artificial aflat pe o orbită la o anumită înălțime față de suprafața Pământului. Viteza pe orbita parabolică se calculează astfel:

$$v_p = \sqrt{2gr}$$

De aici, deducem că $v_p = \sqrt{2} \cdot v_c$. Viteza pe orbita parabolică necesară unui corp ceresc artificial pentru a părăsi câmpul gravitațional al Pământului de pe o orbită circulară de înălțime minimă este de 11,2 km/s.



- Pentru fiecare corp ceresc se pot determina, în funcție de masa sa și de rază, viteza minimă pe orbita circulară (v_{mc}) și viteza de evadare de pe orbita de înălțime minimă (v_{me}).

Obiectul	v_{mc} în km/s	v_{me} în km/s
Soare	438	618
Mercur	3,0	4,2
Venus	7,3	10,3
Pământ	7,9	11,2
Lună	1,7	2,4
Marte	3,6	5,0
Jupiter	43	61
Saturn	26	37
Uranus	16	22
Neptun	18	25
Pluto		

Viteza hiperbolică (v_h). Viteza necesară unui corp ceresc artificial pentru a părăsi câmpul gravitațional al Soarelui. Ea trebuie să fie de $\sqrt{2}$ ori mai mare decât viteza medie de revoluție a planetei de pe care este lansat corpul respectiv. Pentru Pământ se obține valoarea de 42,2 km/s, tangențial la orbita terestră. Întrucât viteza pe orbită a Pământului atinge 29,8 km/s, apare o diferență de 12,5 km/s, complementară vitezei de evadare de pe Pământ, de 11,2 km/s, viteză necesară atingerii unei traiectorii hiperbolice.

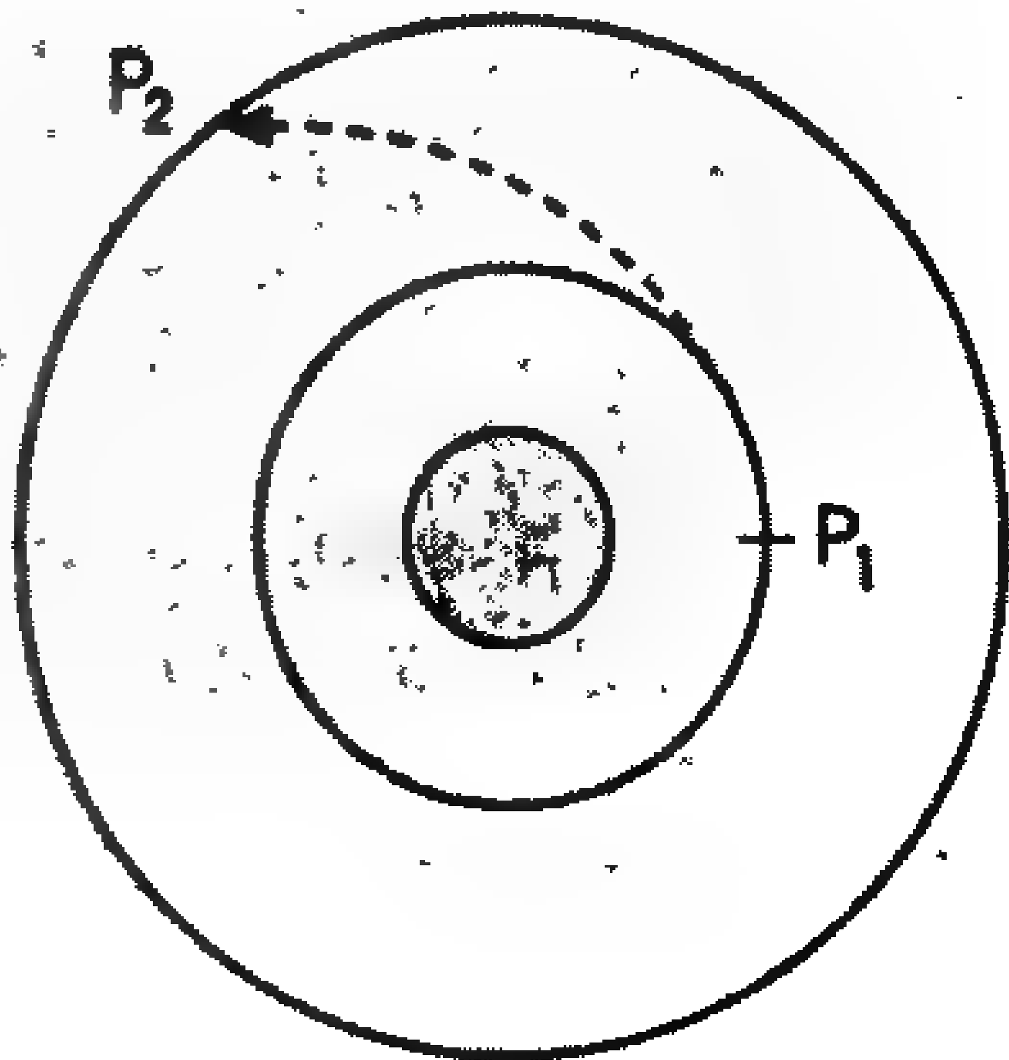
Din relația

$v_h = \sqrt{v_{p_1}^2 + v_{p_2}^2}$	v_{p_1} – viteza parabolică pentru Pământ v_{p_2} – 12,5 km/s

se obține, pentru un corp ceresc artificial lansat de pe Pământ, ce dorește să părăsească câmpul gravitațional al Soarelui, o viteză hiperbolică de 16,7 km/s.

Traiectoria zborurilor interplanetare

Traseul descris de rachete spre alte corpuri cerești ale Sistemului Solar, spre care un zbor rectiliniu nu este posibil.



Traiectoria clasică de tranzit (traiectoria Hohmann) – reprezentată cu o linie întreruptă - de la o orbită circulară mai apropiată de Pământ la una mai îndepărtată.
P_1 - impuls de pornire;
P_2 - impuls de adaptare (corecții ale traiectoriei).

Traiectoriile Hohmann. Pentru ca un obiect-țintă să fie atins într-o perioadă de zbor cât mai scurtă și cu un consum de energie cât mai redus, rachetele trebuie aduse, de exemplu, pe o orbită eliptică în jurul Soarelui, ce se desfășoară tangențial cu orbita terestră și atinge obiectul-țintă (elipsă de atingere).

- Pe o traiectorie Hohmann, zborul până la planeta Marte durează 260 de zile. Pentru întoarcere este necesar același timp. Dar, pentru că între start și reîntoarcerea pe Pământ, planeta noastră parcurge o anumită distanță în drumul său în jurul Soarelui, zborul durează mai mult de 520 de zile.

↗ Efectul swing-by, p. 60.; ↗ Mișcarea heliocentrică, p. 50.; ↗ Elementele orbitei, p. 52.

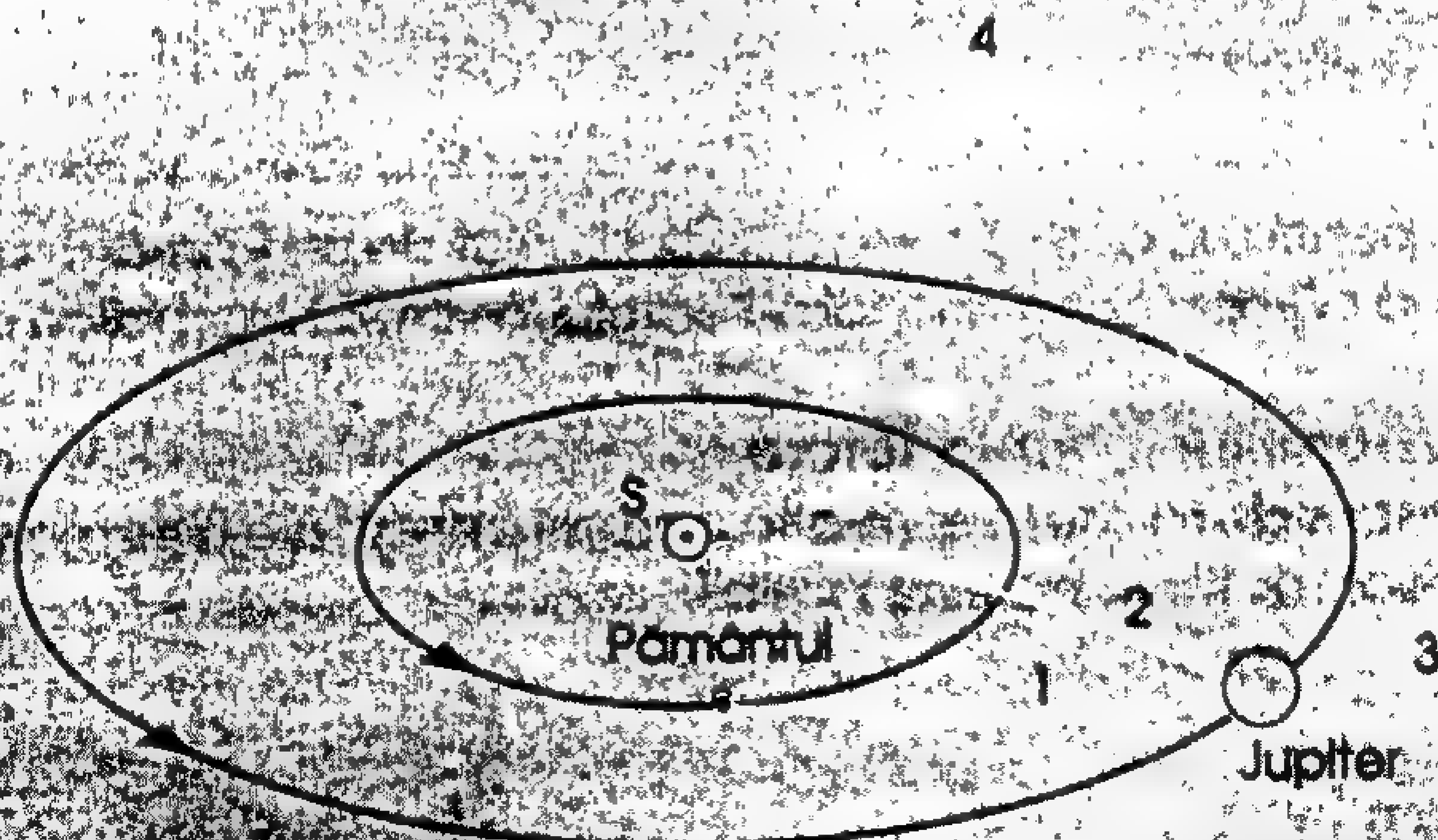
Efectul swing-by (fly-by)

Folosirea forței gravitaționale și a vitezei orbitale a unui corp ceresc în scopul modificării traiectoriei sau a vitezei unui corp artificial.

Modificarea traiectoriei este dependentă de masa corpului ceresc, de distanța din timpul zborului pe lângă corpul ceresc și de direcția corpului artificial.

Avantaje:
- modificarea traiectoriei fără consum de combustibil;
- scurtarea duratei zborului interplanetar;
- posibilitatea atingerii unor ținte suplimentare.

Dezavantaje:
- interval favorabil startului relativ îngust;
- micile inexactități din timpul manevrelor de corecție a traiectoriei conduc la ratarea obiectivului.



Modificarea traiectoriei prin efectul swing-by.
(1) Traiectorie primară de tranziție Pământ (P) – planetă /ex. Jupiter.
(2) Traiectorie secundară de tranziție în interiorul Sistemului Solar și spre Soare.
(3) Traiectorie secundară de tranziție în exteriorul Sistemului Solar și în spațiul interstelar.
(4) Traiectorie ce conduce în afara Sistemului Solar.

- Planeta Jupiter este, spre exemplu, grație masei sale relativ mari, în postura de a conduce sondele spațiale către orice țintă din afara Sistemului Solar (ex. Pioneer Jupiter, Voyager).
Pentru planetele inferioare, datorită maselor lor reduse, aceste manevre au loc cu serioase constrângeri. Ele pot modifica viteza și traiectoria unui corp ce trece pe lângă ele doar într-o manieră neesențială.

Clasificarea fizică a planetelor

[illegible]	[illegible]	[illegible]
raza masa densitatea	relativ mică relativ mică relativ mare	relativ mare relativ mare relativ mică

Pe baza caracteristicilor de mai sus, planetele terestre și cele jupiteriene se deosebesc chiar și în ceea ce privește structura internă și compoziția chimică.
Planetele jupiteriene se împart în planete–gigant (Jupiter, Saturn) și planete mari (Uranus, Neptun). Planeta Pluto nu este inclusă până acum în această clasificare, datorită faptului că datele observațiilor sunt încă incerte.

Planeta	Raza ecuatorială în km	Masa în mase terestre (5,976 · 10^{24} kg)	Densitatea medie în g · m^{-3}
Mercur	2439	0,056	5,44
Venus	6052	0,815	5,24
Pământ	6378	1,000	5,52
Marte	3394	0,107	3,94
Jupiter	71398	317,82	1,33
Saturn	60330	95,11	0,70
Uranus	25900	14,52	1,27
Neptun	24300	17,22	1,71
Pluto[1)]	1190	0,04	2,10

[1)] Date incerte

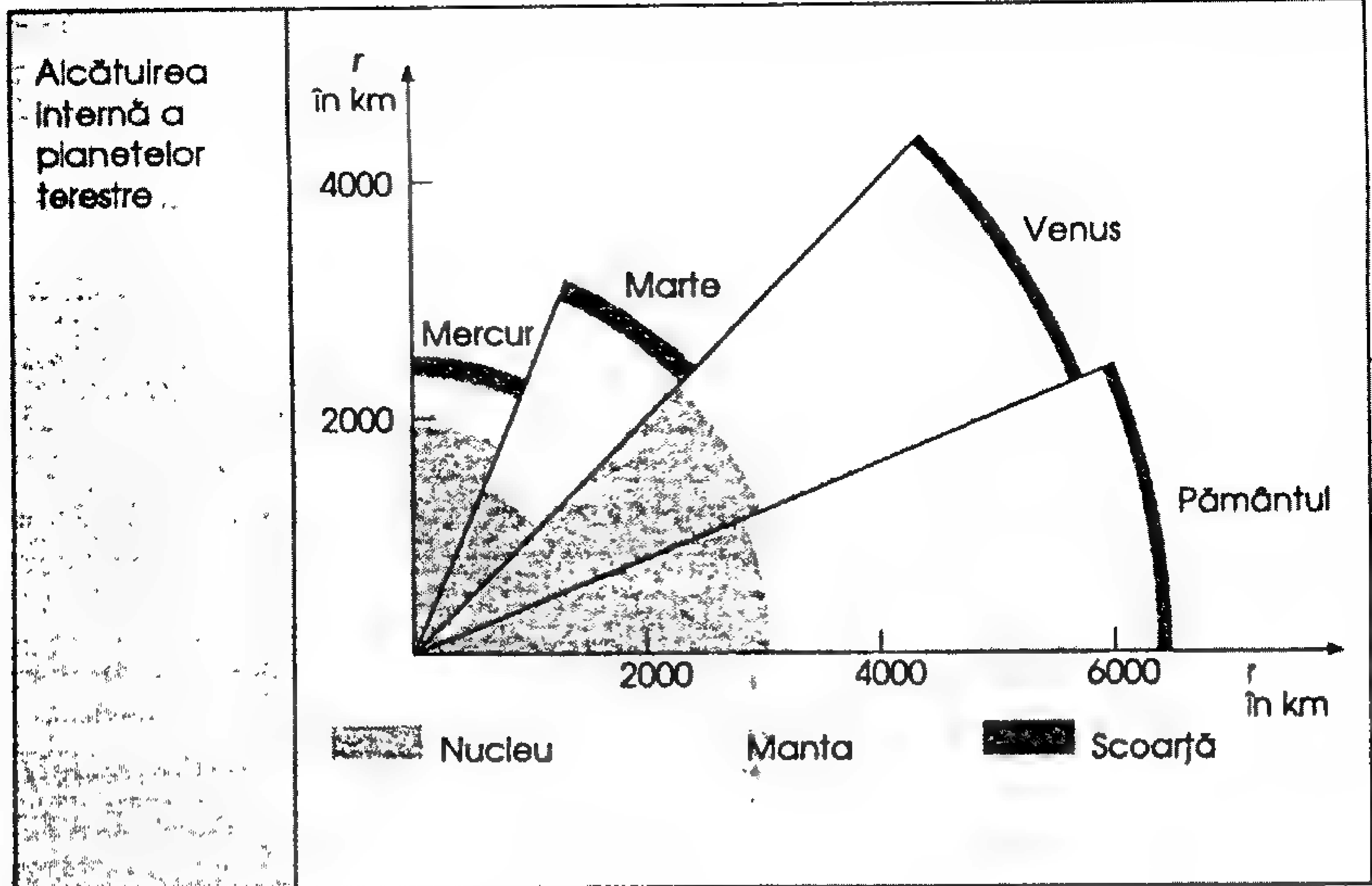
Mărimi fizice importante care caracterizează planetele (continuare)						
Planeta	Accelerația gravitațională la suprafață în $g_{terestre}$	Viteza de evadare la Ecuator în km/s	Durata de rotație în			
			zile	h	min	s
Mercur	0,39	4,3	58	15		
Venus	0,90	10,4	224	3	40	
Pământ	1,00	11,2		23	56	4
Marte	0,38	5,0		24	37	23
Jupiter	2,51	59,5		9	50	
Saturn	1,06	33,4		10	14	
Uranus	0,88	21,2		17	15	
Neptun	1,16	23,9		18	12	
Pluto[1]	≈ 0,14	1,27	6	9	17	

[1] Date incerte

Caracteristicile planetelor terestre

Distanța față de Soare	0,39 UA – 1,52 UA
Masa	0,056 mase terestre – 1 masă terestră
Raza	2439 km – 6378 km
Densitatea medie	3,94 g/cm³ – 5,52 g/cm³
Rotația	23h 56 min 4 s – 224 zile 3h 40 min
Turtirea	0 – 1/300
Atmosfera	acolo unde există, în special HCO_2, N_2, O_2, H_2O
Suprafața	scoarță solidă, cratere de impact
Alcătuirea internă	învelișuri compuse în special din Fe, O, Si
Sateliți	puțini sau inexistenți
Inele	nu există

Alcătuirea internă a planetelor terestre



Mercur

Suprafaţa celei mai apropiate planete de Soare este asemănătoare cu cea a Lunii, iar alcătuirea internă cu cea a Pământului.



Mercur (MARINER 10)

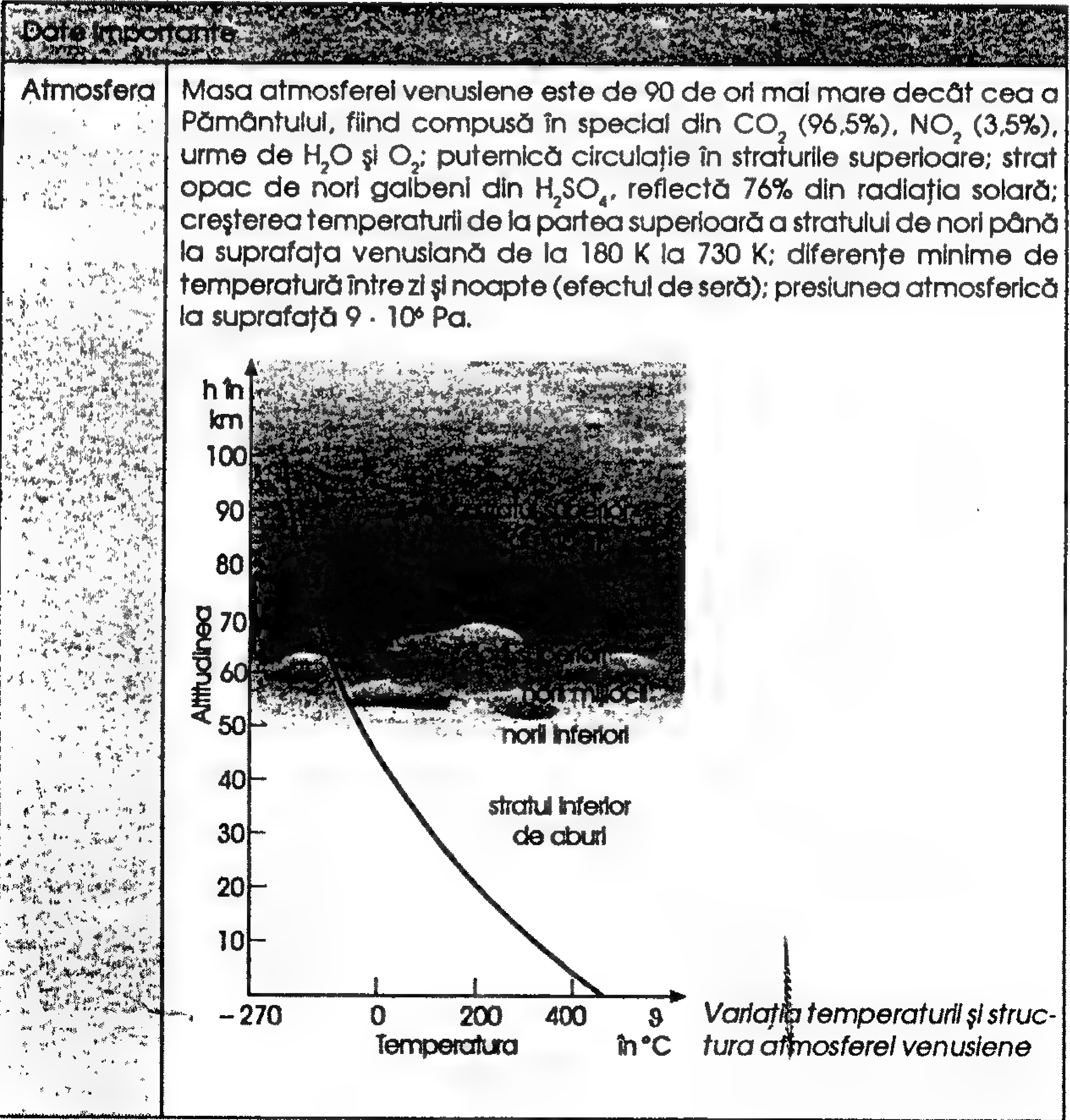
Date importante	
Atmosfera	– extrem de rară, probabil gaze captate din atmosfera solară; – urme de He, H, H_2O; – presiunea atmosferică la suprafaţă $2 \cdot 10^7$ Pa.

Suprafaţa	– multe crăpături; – multe cratere de diferite mărimi, parţial cu munţi centrali, câmpii sub forma unor bazine circulare, *Caloris Basin* (bazin de impact cu un diametru de cca 1400 km), povârnişuri sinuoase, versanţi abrupţi de 20–500 km lungime şi până la 3 km înălţime; – temperatura la suprafaţă: aproximativ 700 K pe partea luminată de soare; aproximativ 90 K pe partea umbrită.
Structura internă	– nucleu din fier ocupând circa 50% din volum şi 80% din rază; – manta din siliciu (≈ 600 km grosime); – câmpul magnetic corespunde cu axa de rotaţie; intensitatea câmpului magnetic la suprafaţă: 0,0035 Gauss.

Venus

Foarte asemănătoare cu Pământul, după mărime şi masă. Restul caracteristicilor fizice au anumite similitudini cu Pământul şi cu Marte.

Date importante	
Atmosfera	Masa atmosferei venusiene este de 90 de ori mai mare decât cea a Pământului, fiind compusă în special din CO_2 (96,5%), NO_2 (3,5%), urme de H_2O şi O_2; puternică circulaţie în straturile superioare; strat opac de nori galbeni din H_2SO_4, reflectă 76% din radiaţia solară; creşterea temperaturii de la partea superioară a stratului de nori până la suprafaţa venusiană de la 180 K la 730 K; diferenţe minime de temperatură între zi şi noapte (efectul de seră); presiunea atmosferică la suprafaţă $9 \cdot 10^6$ Pa.

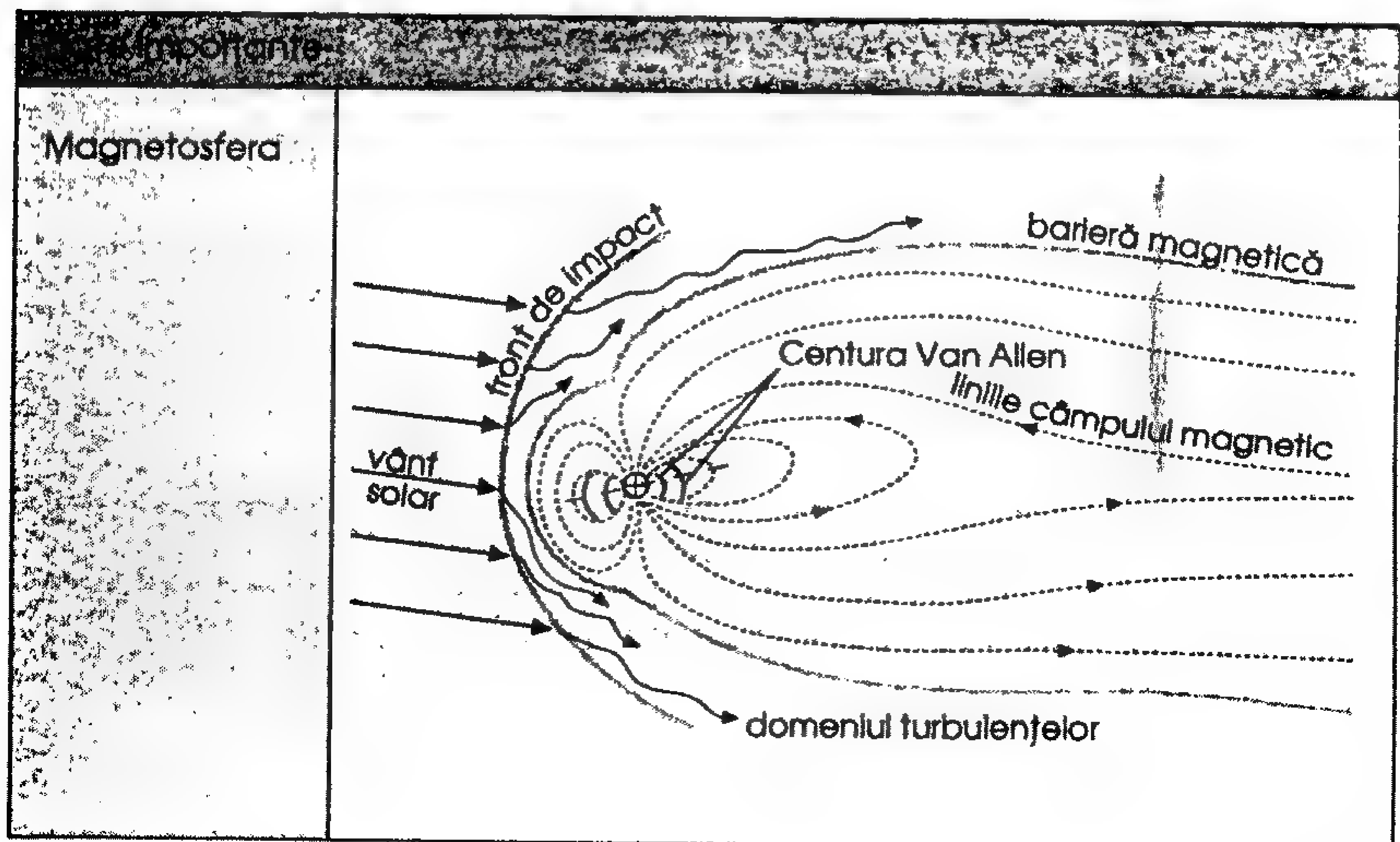


Variaţia temperaturii şi structura atmosferei venusiene

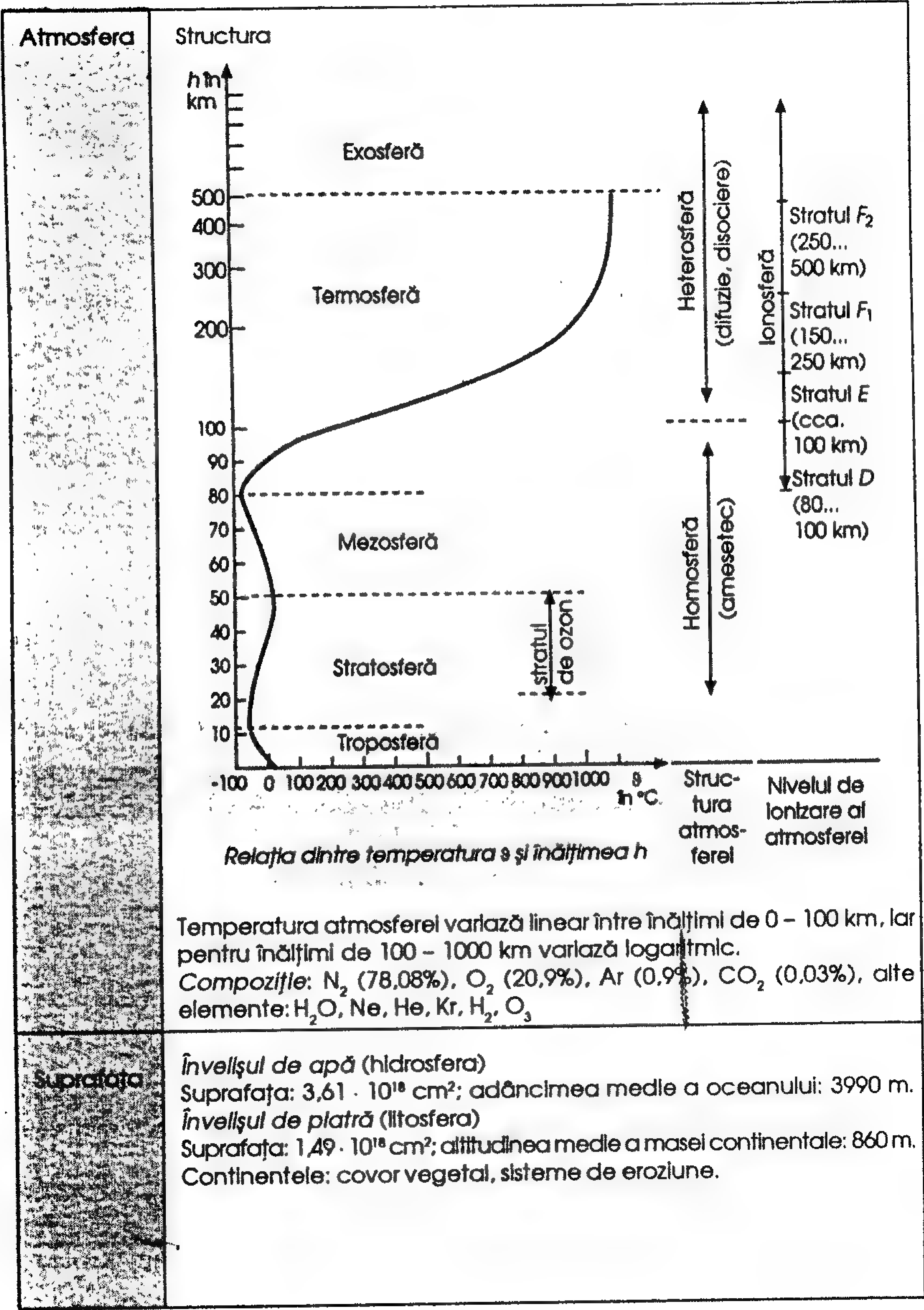
Suprafața	– circa 70% câmpii, 20% depresiuni, 10% podișuri, zone cu cratere nivelate, vulcani, din care unii probabil sunt activi; – scoarța: structură stâncos-pietroasă, cu un mare conținut de K. *Suprafața venusiană (MAGELLAN)*
Structura internă	– nucleu de Ni–Fe, circa 12% din masa planetei; – câmp magnetic slab.

Pământul

Unica planetă din Sistemul Solar pe care există viață evoluată.

[illegible] importante	
Magnetosfera	

Centura Van Allen. Centură interioară la 1000 – 6000 km deasupra Ecuatorului (protoni cu nivel energetic ridicat). Centură exterioară la 15 000 – 25 000 km deasupra Ecuatorului (electroni).



Imaginea suprafeței terestre



Structura internă

Învelișurile Pământului

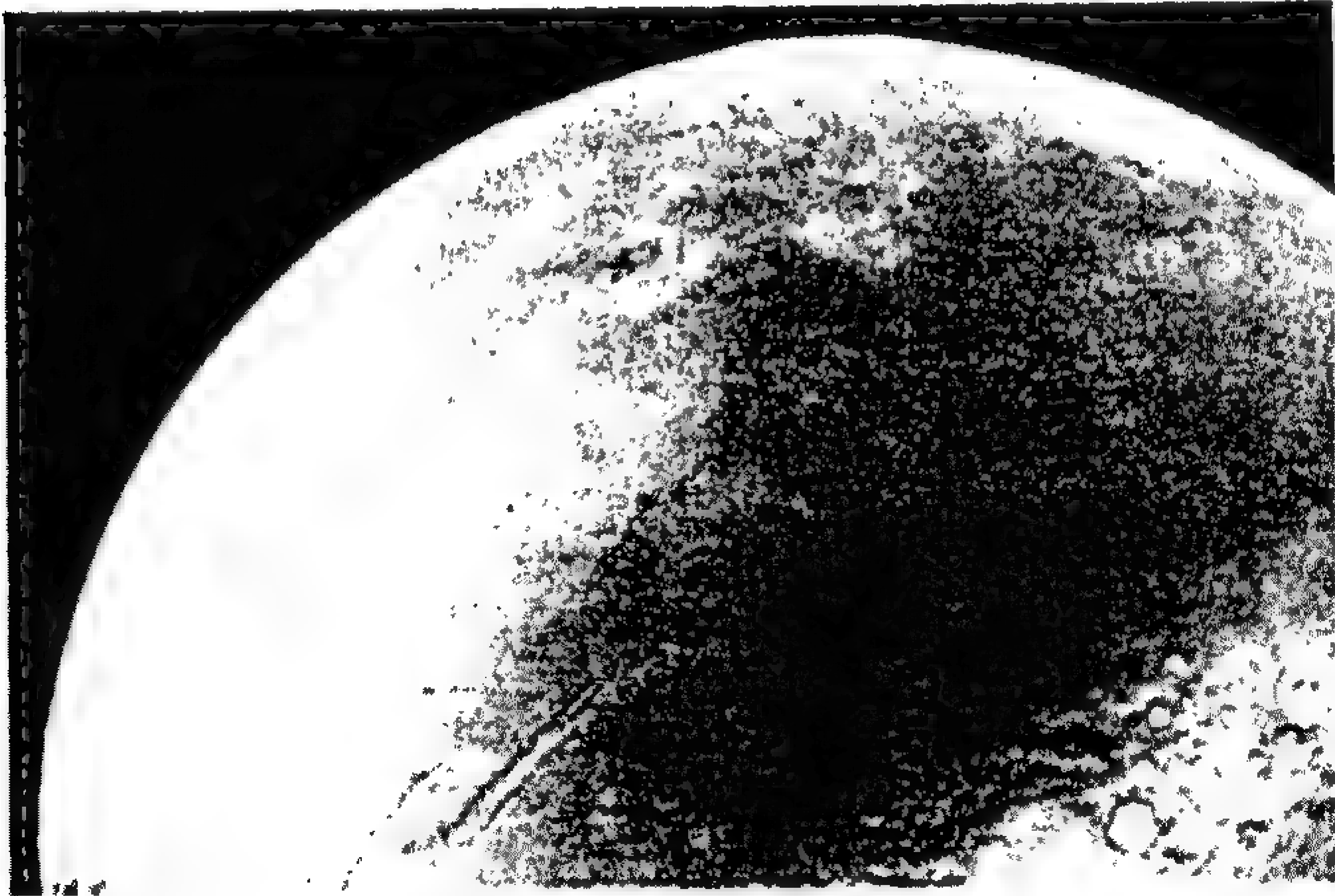
Învelișul		Densitatea în g · cm^{-3}	Elementele cele mai reprezentative
Sial 0 – 30	superioară	2,7	Siliciu, Aluminiu -Sial
5 – 60	Crustă inferioară	3,0	
900 – 1000	superioară	3,4 – 4,5	Siliciu, Magneziu -Sima
Sima	Manta	4,5 – 5,5	
	inferioară	9,5 – 12,0	Magneziu, Fier
2 700 – 2 900			
Nife 5 000	exterior		Nichel, Fier - Nife
	Nucleu		
5 100	inferior	12,0 – 16,0	
6 370 km		Pământ: 5,52	

Variația temperaturii și a presiunii în interiorul Pământului		
Adâncimea în km	**Temperatura**	**Presiunea**
Litosfera; solid; 80 până la 100	≈ 1200°C până la 1500°C	$\approx 5 \cdot 10^{9}\ N \cdot m^{-2}$
plastic; 200 până la 300	≈ 1500°C până la 2000°C	$\approx 1{,}0 \cdot 10^{10}$ până la $1{,}5 \cdot 10^{10}\ N \cdot m^{-2}$
lichid; 5 000 până la 5 100	≈ 3000°C până la 3500°C	$\approx 3 \cdot 10^{11}\ N \cdot m^{-2}$
solid; 6 370	≈ 5000°C până la 6000°C	$\approx 3{,}6 \cdot 10^{11}\ N \cdot m^{-2}$

Variația presiunii și temperaturii

Marte

Planeta este un deșert stâncos.



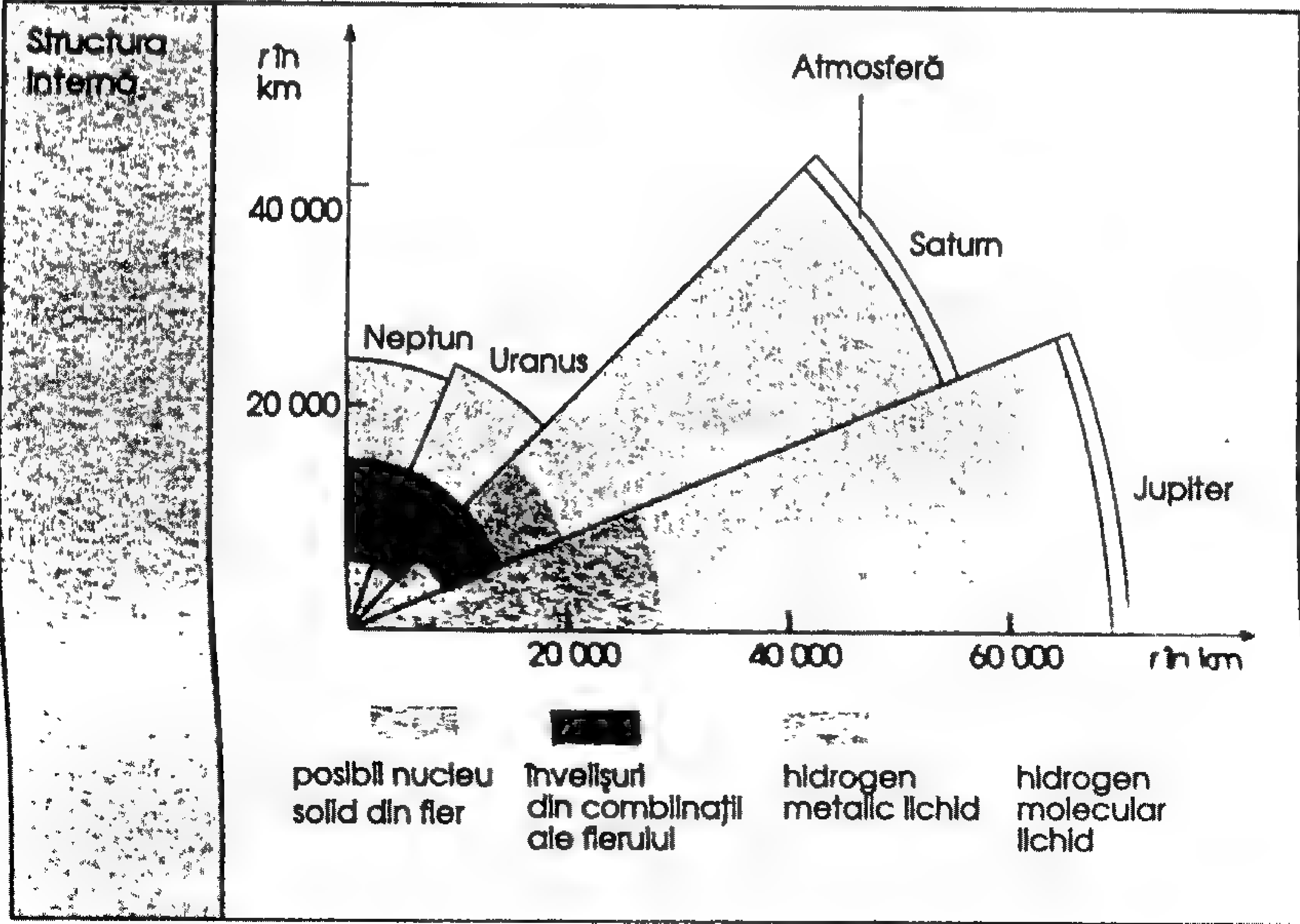
Marte (MARINER 9)

Date importante	
Atmosfera	Compoziție: CO_2 (95,3%), N_2(2,7%), Ar (1,6%), O_2 (0,13%), H_2O (0,03%), densitate foarte redusă, nori puțini, foarte subțiri și aflați la mari înălțimi, circulație atmosferică puternică, viteze ale vântului de până la 180 km/h, temperaturi în apropierea solului de 180 – 280 K, presiune atmosferică la suprafața planetei: $6{,}1 \cdot 10^{2}$ Pa.

Suprafața	Câmpii înalte, cratere erodate, vulcani - scut stâncoşi şi înalți, rețele de canioane foarte adânci (6 km în adâncime, între 100 şi 200 km în lățime şi aproximativ 4000 km în lungime).  *Vulcanul - scut Olympus Mons se înalță la 27 000 m deasupra împrejurimilor sale. Cel mai înalt munte al Sistemului Solar; diametrul bazei ≈ 700 km.* Calote polare din gheață de apă, puternică eroziune a solului (furtuni de praf), blocuri bazaltice, dune de nisip, particule de praf cu un mare conținut de Fe (≈ 16%), de aici culoarea roşu - brună a solului marțian, suprafața cu gheață permanentă; văi seci, apă în stare lichidă inexistentă.  *Suprafața planetei Marte în punctul amartizării lui VIKING 1*
Structura internă	Mic nucleu metalic greu (5% – 10% din masa planetei), slab câmp magnetic, slabă centură de radiații.

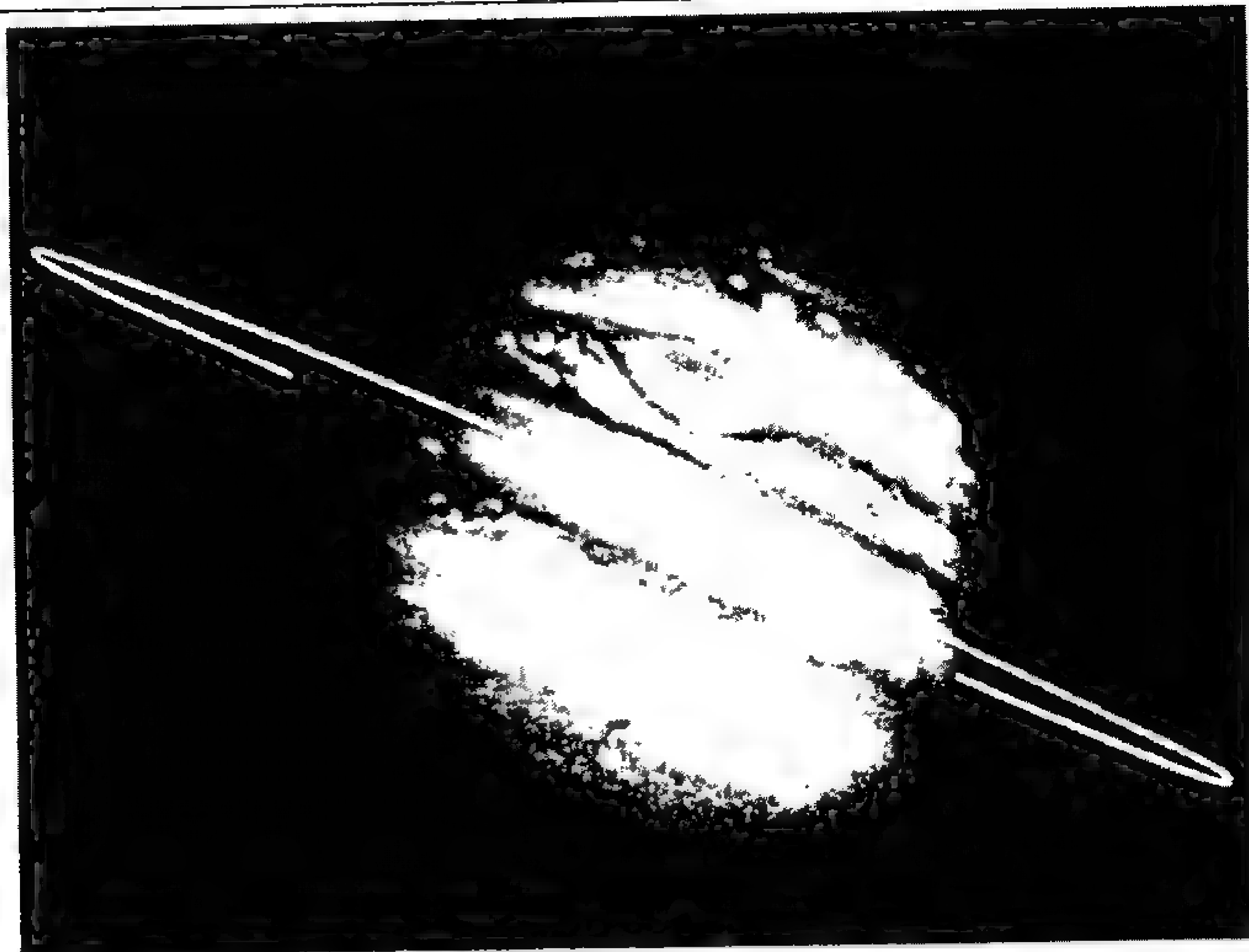
Caracteristicile planetelor jupiteriene

[redacted]	5,20 UA până la 30,06 UA
	14,52 până la 317,82 mase terestre
	24 300 până la 71398 km
	0,7 până la 1,7 g · cm^{-3}
	9 h 50 min până la 18 h 12 min
	1/50 până la 1/10
	Compoziție: H, He, NH_3, CH_4; Largă extindere, strat gros de nori
	În general H și He sub formă metalică, nucleu solid
	Sistem de inele de praf și gheață
	În general sisteme de sateliți



Jupiter

Cea mai mare planetă a Sistemului Solar, cu un diametru de 11 ori mai mare decât al Pământului.



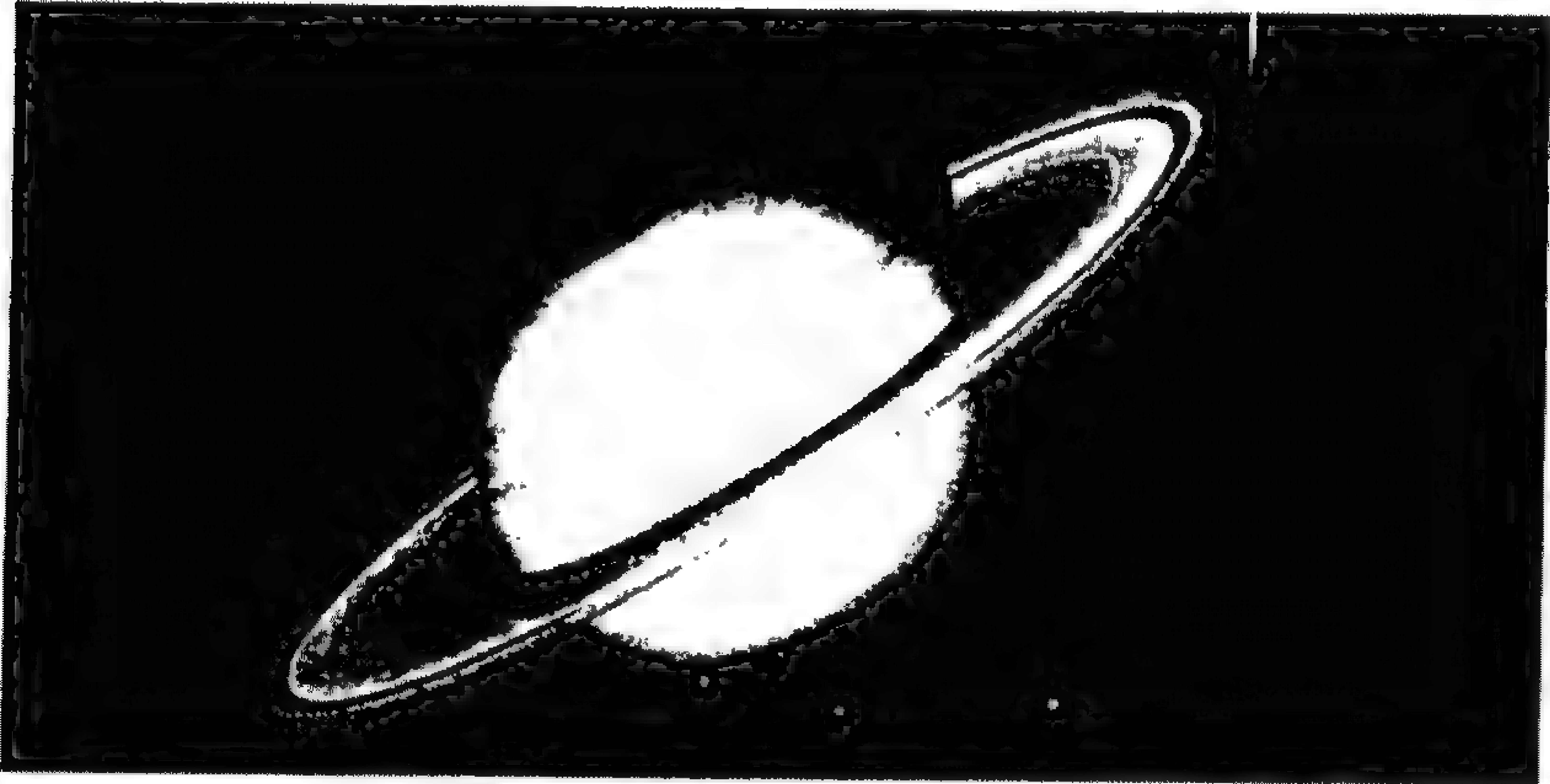
Atmosfera turbulentă a lui Jupiter

...portante	
Magnetosfera	Extindere spațială de circa 50 de raze jupiteriene (pe partea luminată), până la 150 de raze jupiteriene (pe partea umbrită); câmp magnetic de 12 ori mai intens decât cel terestru măsurat la Ecuator, centură de radiații de 10 000 mai intensă decât valoarea înregistrată în magnetosfera terestră.
Atmosfera	Compoziție: H (circa 79 %), He (circa 19 %), cantități reduse de CH_4 și NH_3 (încă există atmosfera inițială), densitate mare, aproximativ 45 000 km grosime, benzi noroase întunecate și luminoase compuse din NH_3, NH_4SH, H_2O, o puternică circulație atmosferică cu viteze ale vântului de până la 540 km/h, regiuni cu puternice uragane. *Marea pată roșie, uriaș anticiclon stabil; extinderea actuală: 20 000 km lungime, 10 000 km lățime*

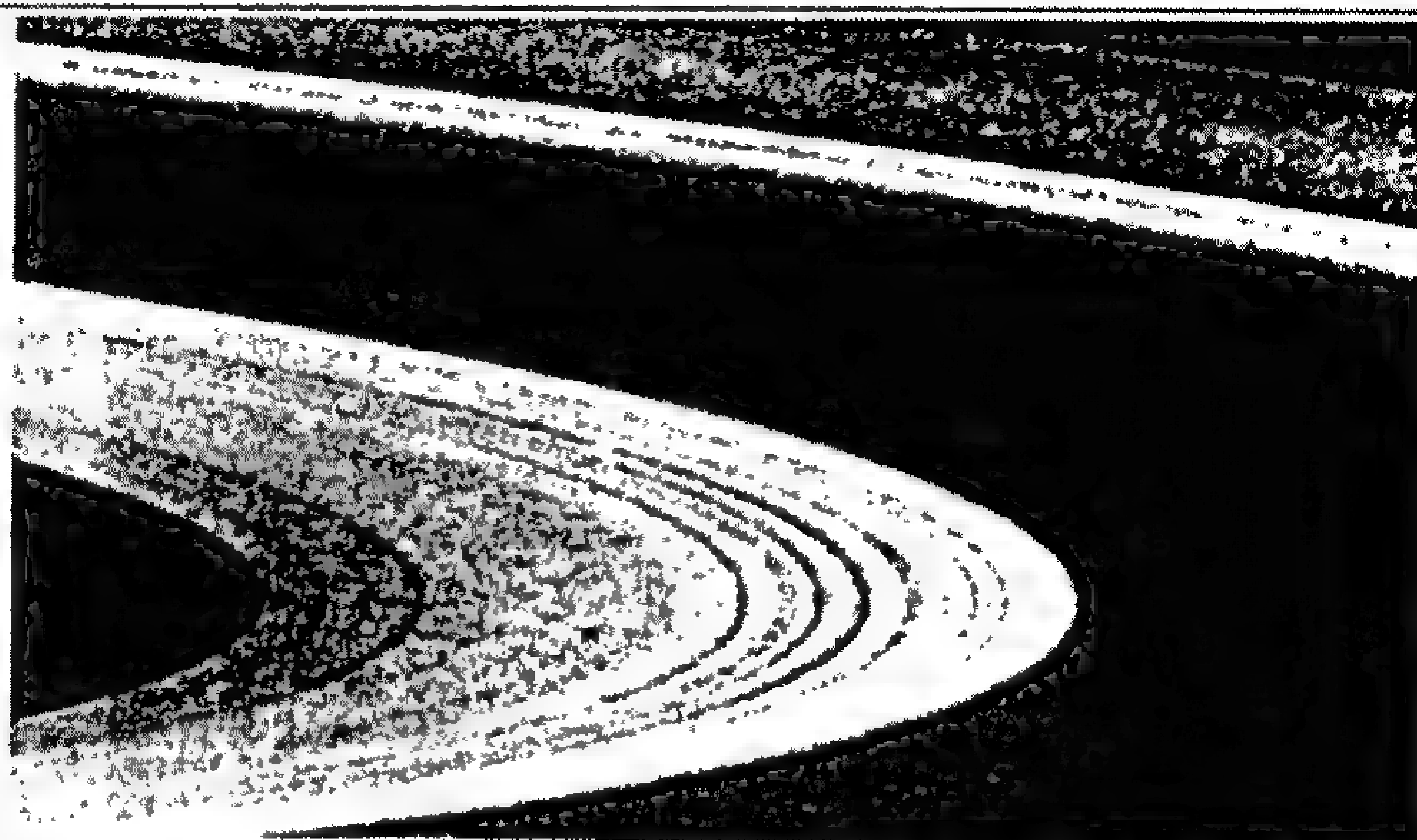
Suprafața	Condițiile de temperatură și presiune crează premisele existenței unui "ocean de hidrogen".
Structura internă	Domeniul exterior (mai mult de 50 000 km de la centru), la temperaturi de aproximativ 2 000 K, hidrogen molecular; Domeniul interior (mai puțin de 50000 km de la centru), la temperaturi de circa 10 000 K, presiune de circa $3 \cdot 10^{11}$ Pa, hidrogen sub formă metalică. Nucleul – probabil elemente grele ca Si și Fe, temperatura de aproximativ 25 000 K, presiune de circa $8 \cdot 10^{12}$ Pa, emisie de căldură aproape dublă față de căldura primită de la Soare, probabil radiație remanentă din perioada formării planetei. Câmp magnetic puternic, intensitatea câmpului magnetic în stratul superior de nori: 4,3 Gauss.
Inelele	Sistem de inele subțiri (circa 6 000 km lățime și sub 30 km grosime), ca și un halou bine conturat.

Saturn

Cea mai frumoasă planetă cu inele a Sistemului Solar. Compoziția chimică și structura fizică a lui Saturn se aseamănă cu cele ale lui Venus.



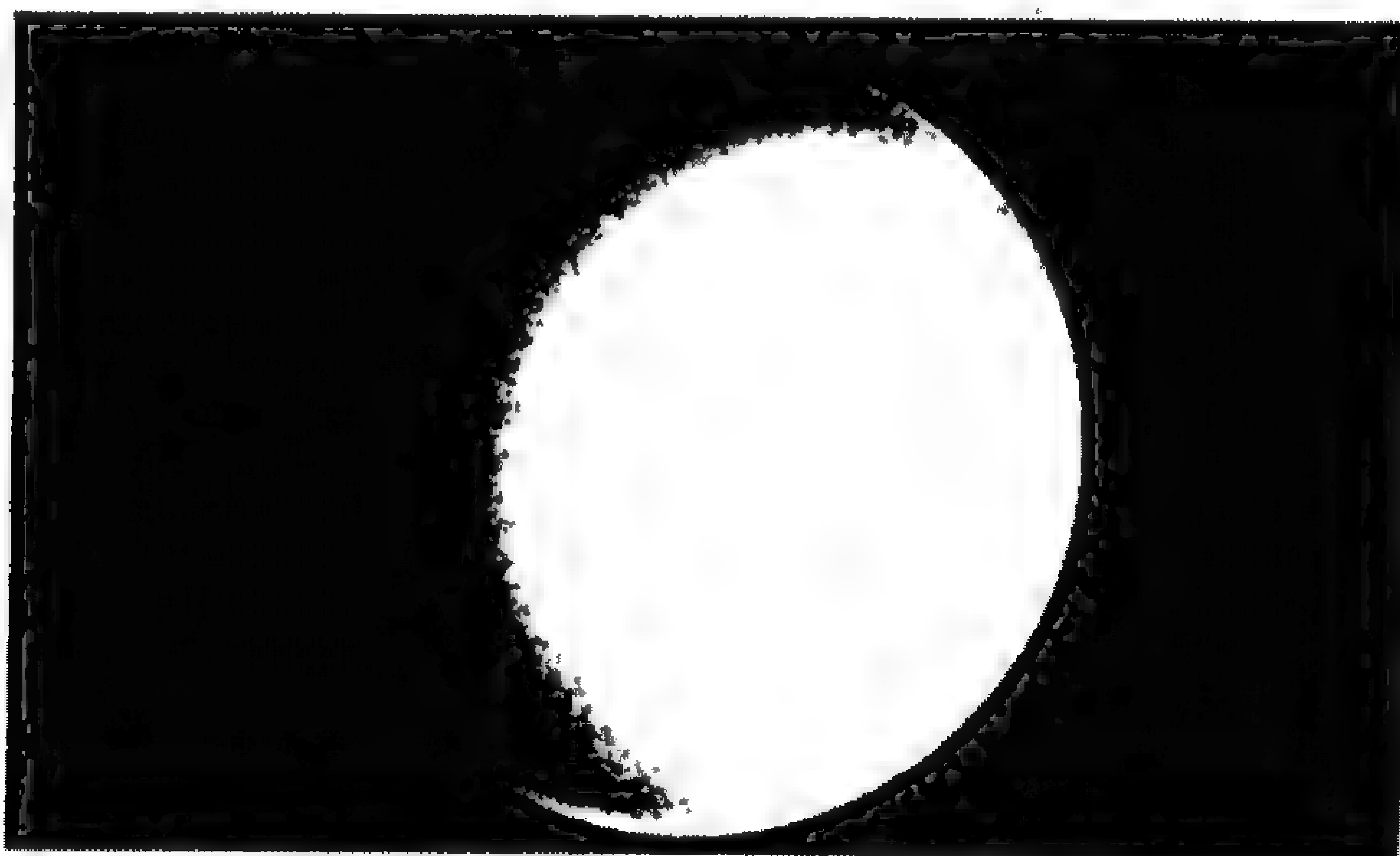
Date importante	
Atmosfera	Compoziție: H (≈ 96%), He (circa 6%)
Structura internă	Nucleu de mărimea Pământului, cu un mare conținut de fier și cu o masă de trei ori mai mare decât masa Pământului, temperatura aproximativ 21000 K, presiune de circa $5 \cdot 10^{12}$ Pa, puternic câmp magnetic în stratul superior de nori: 0,2 Gauss.
Inelele	Sistem de inele bine dezvoltat, cu mii de inele individuale, de mărimi și densități diferite. Origine: probabil resturi din momentul formării planetei, posibil și material al foștilor sateliți ai lui Saturn, distruși de forța mareică sau de coliziunile cu alți sateliți.



Sistemul de inele ale lui Saturn. Diametrul general este de circa 278 000 km, grosimea de 300 – 500 m.
Compoziție: roci și praf cu crustă de gheață.

Uranus

Axa de rotație se află aproape de planul orbitei (înclinată cu 98^0 față de pol). Uranus se rotește retrograd, adică în sens opus celui al mișcării de revoluție.

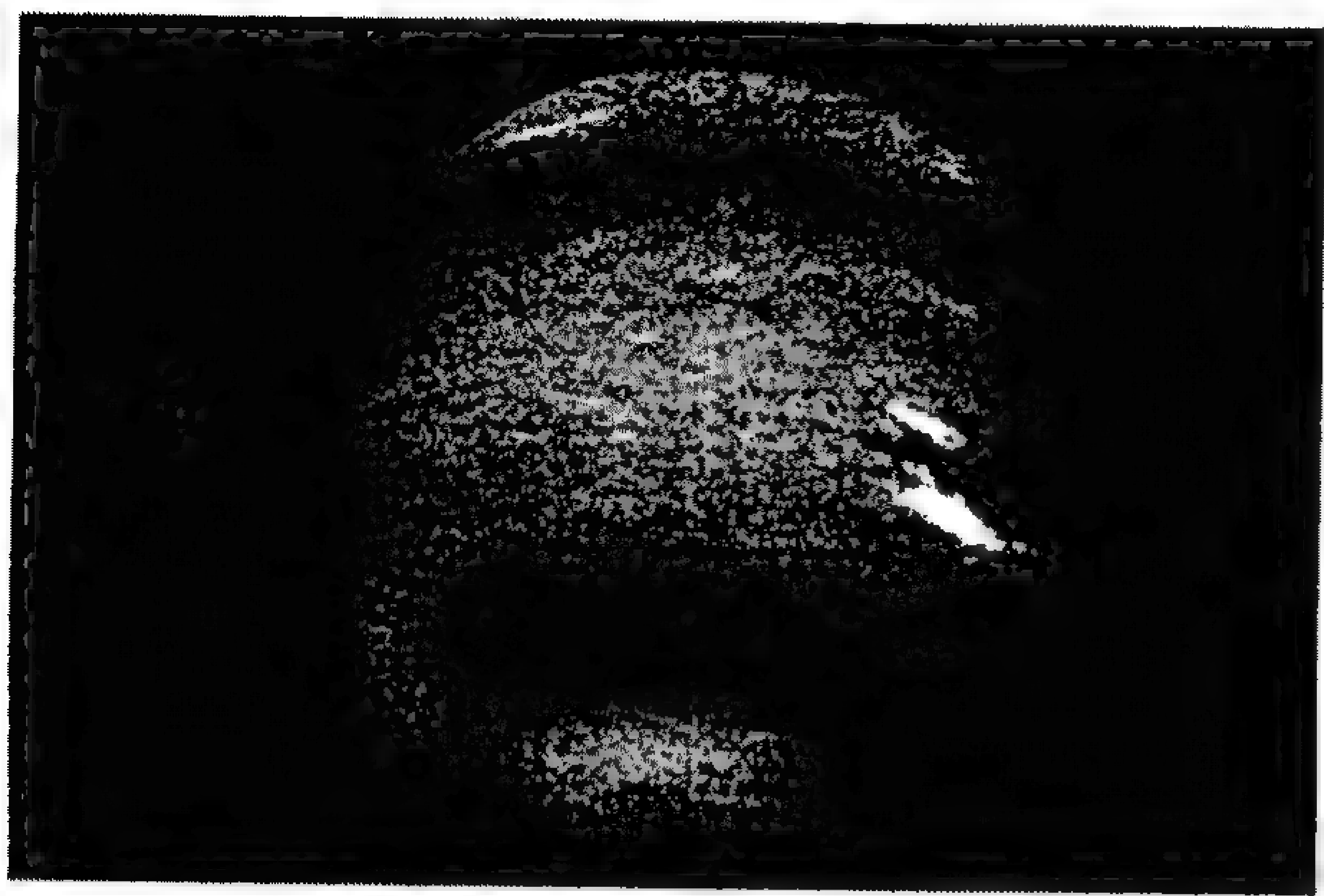


Uranus

Date importante	
Atmosfera	Compoziție: H, He, o relativ importantă proporție de CH_4 (≈ 3%), nori compuși din CH_4.
Structura internă	Nucleu de metalosilicați cu o manta de gheață bine dezvoltată, având în compoziție H_2O, NH_3, CH_4. Temperatura în nucleu este de aproximativ 10 000 K, presiunea de aproximativ $8 \cdot 10^{11}$ Pa.
Inelele	Sistem de inele cu peste 60 de inele individuale, majoritatea foarte subțiri, cu lățimi sub 10 km și margini bine delimitate.

Neptun

Planeta a fost descoperită prin calcul, pe baza perturbaţiilor observate la orbita lui Uranus.



Neptun, cu marea pată albastră

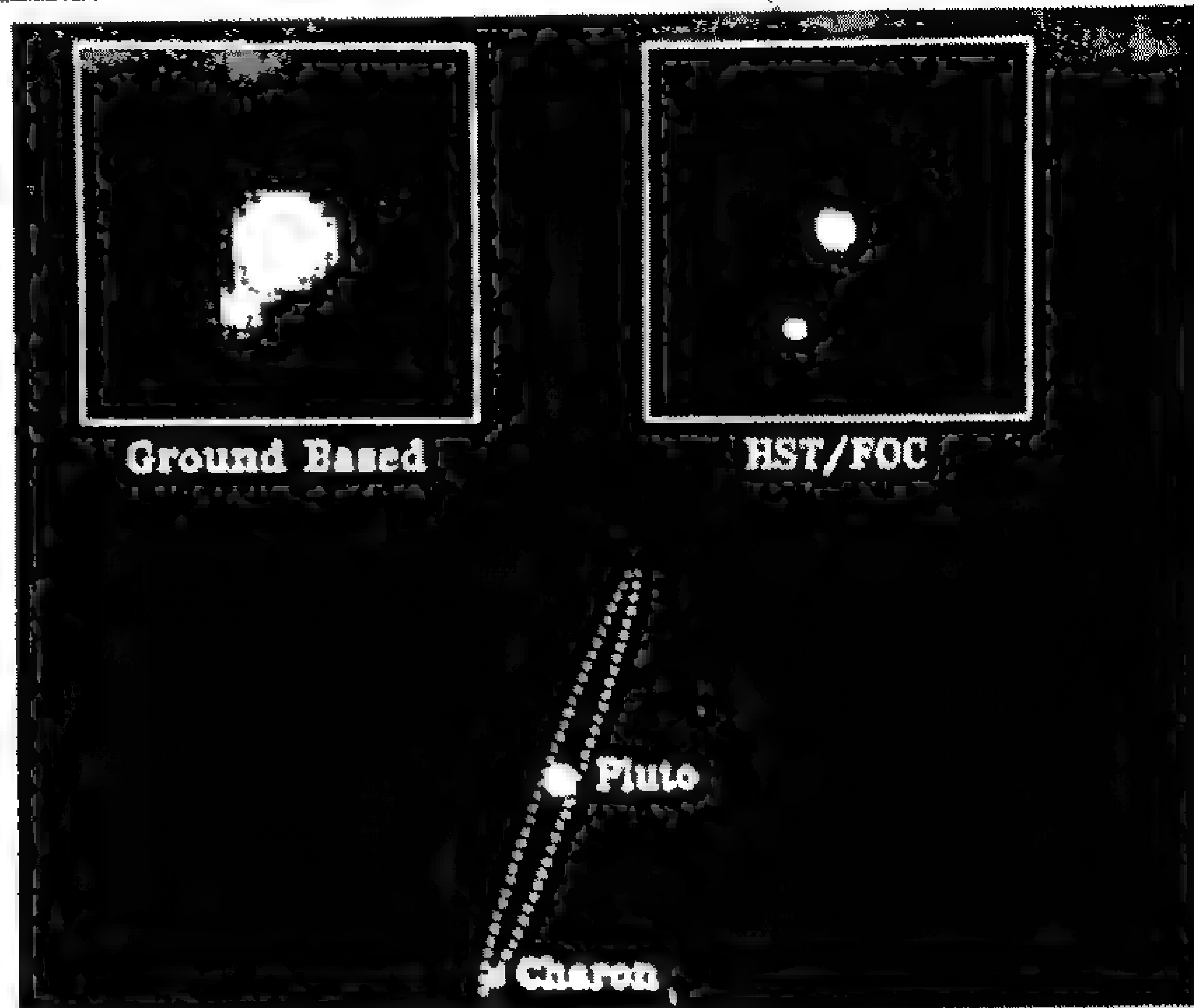
Date importante	
Atmosferă	Marea pată albastră (sau marea pată întunecată), anticiclon atmosferic stabil (la fel ca în cazul lui Jupiter), viteza vântului până la 600 km/h. Temperatura la limita superioară a norilor 55 K (Uranus 57 K), posibile surse interne de căldură.
Structura internă	Nucleu Fe–Si cu o mare extindere (probabil 70 % din masa planetei). Axa câmpului magnetic este înclinată cu 50 % faţă de axa de rotaţie.
Inelele	Până acum sunt cunoscute trei inele de culoare neagră, constituite probabil din gheaţă de NH_3.

Pluto

Cea mai depărtată de Soare dintre planetele cunoscute, aproape de două ori mai mare decât planetoidul Ceres. Până acum, Pluto nu a fost clasificată nici ca planetă jupiteriană, nici ca planetă terestră. Orbita sa o intersectează pe cea a lui Neptun. De aceea, Pluto se află, temporar, mai aproape de Soare decât Neptun (de exemplu între anii 1989 şi 2004). Datorită depărtării mari faţă de Soare, Pluto primeşte de 2430 ori mai puţină lumină solară decât Pământul. Totuşi, el este de 164 ori mai luminat decât este Pământul la lună plină.

Semnificaţia unor date obţinute prin observaţie:

- probabil o atmosferă foarte rarefiată, ce ajunge cel puţin până la 3200 km înălţime deasupra suprafeţei lui Pluto, NH_3 ca gaz în atmosferă sau ca gheaţă la suprafaţă;
- probabil calote polare luminoase şi zone ecuatoriale întunecate;
- presupusa existenţă a unui nucleu solid (circa 80% din masa planetei), înconjurat de o manta de gheaţă de NH_3.



Pluto și luna sa Charon
(Hubble – Space – Telescope)

LUNA

Sateliții naturali

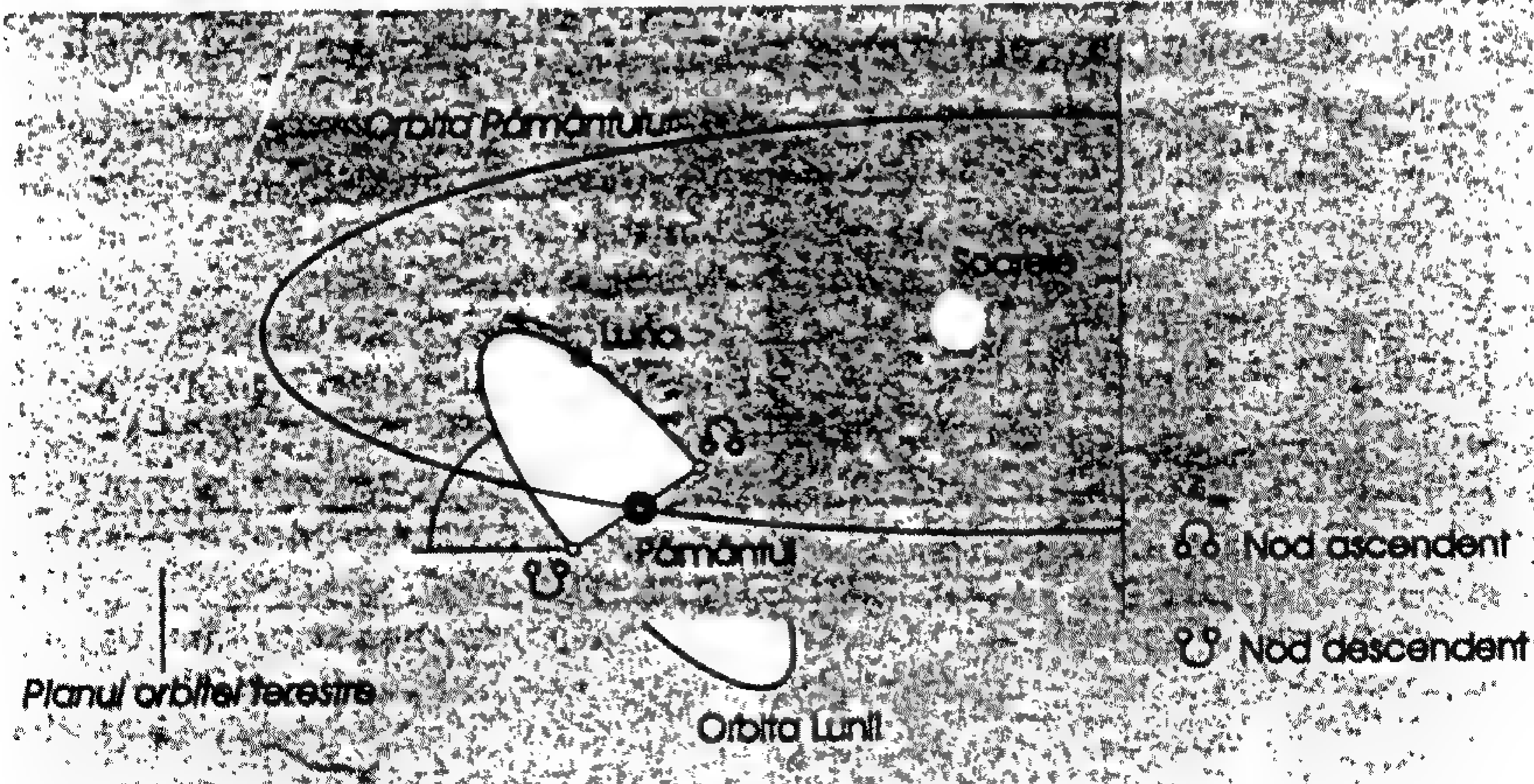
În majoritate corpuri cerești de formă sferică, descriind în general o rotație conformă (în sensul de rotație al planetelor) în câmpul gravitațional al planetelor și al marilor planetoizi și care reflectă o parte a luminii solare. Până acum, în Sistemul Solar sunt cunoscuți 62 de sateliți (1994), a căror structură de suprafață este direct observabilă de pe Pământ. Între aceștia, Luna este unul dintre cei mai mari.

[illegible]	
Distanța față de Pământ – medie – maximă (apogeu) – minimă (perigeu)	 384 403 km 406 740 km 356 410 km
Excentricitatea orbitei	0,0549
Înclinația orbitei față de ecliptică	5°9'
Perioada de rotație în jurul Pământului – siderală – sinodică – mișcarea medie zilnică siderală	 27,32 zile 29,53 zile 13,18°

Viteza medie pe orbită	1,02 km/s
Raza – medie aparentă – reală	 15' 33'' 1738 km = 0,27 (≈ 1/4) raze terestre
Masa	7,350 · 10^{22} kg = 1/81 mase terestre
Volumul	2,192 · 10^{25} cm^3
Densitatea medie	3,34 g/cm^3 = 0,60 densităţi terestre
Acceleraţia gravitaţională la suprafaţă	1,62 m/s^2 = 16,6% din valoarea terestră
Viteza de evadare la suprafaţă	2,38 km/s
Strălucirea (la lună plină)	$-12,7^m$
Albedoul mediu	0,07
Temperatura la suprafaţă – faţa luminată – faţa întunecată	 ≈ 400 K ≈ 130 K

Mişcările Lunii

Luna se mişcă în jurul Pământului pe o orbită eliptică, având o excentricitate redusă. Planul orbitei lunare este înclinat cu 5°9' faţă de planul orbitei terestre.



Orbita Lunii şi orbita Pământului

Pentru un observator aflat la latitudinea de 50° N, Luna are o înălțime maximă (înălțime de culminație) de cca. 69° (Soarele – 64°) și o înălțime minimă de 12° (Soarele de aproximativ 17°) deasupra orizontului.
Punctele de intersecție ale orbitei terestre cu orbita Lunii poartă numele de nod ascendent, respectiv nod descendent. Linia care unește nodurile poartă numele de linie nodală.

Perioada de revoluție siderală (luna siderală). Perioada de timp scursă între două treceri succesive prin cercul orar al unei stele. Acesta reprezintă 27,32 zile.

Perioada de revoluție sinodică (luna sinodică). Perioada de timp scursă între două faze de Lună identice consecutive (ex. faza de Lună plină). Ea reprezintă 29,53 zile, întrucât revoluția Lunii este prelungită de rotația Pământului în jurul Soarelui. Luna calendaristică măsurată după perioada de revoluție a Lunii este o importantă unitate de timp în teoria calendarului.

Reflectarea mișcării de rotație a Pământului	Reflectare a mișcării Lunii în jurul Pământului
Participarea Lunii la mișcarea zilnică aparentă a sferei cerești de la est, prin sud, către vest.	Mișcarea zilnică a Lunii pe sfera cerească în medie cu 13,5° de la vest, prin sud, spre est.

Datorită mișcării contrare de rotație, Luna răsare, de la zi la zi, cu 50 min. întârziere.

↗ Mișcarea zilnică a stelelor, p. 29.

Rotația combinată

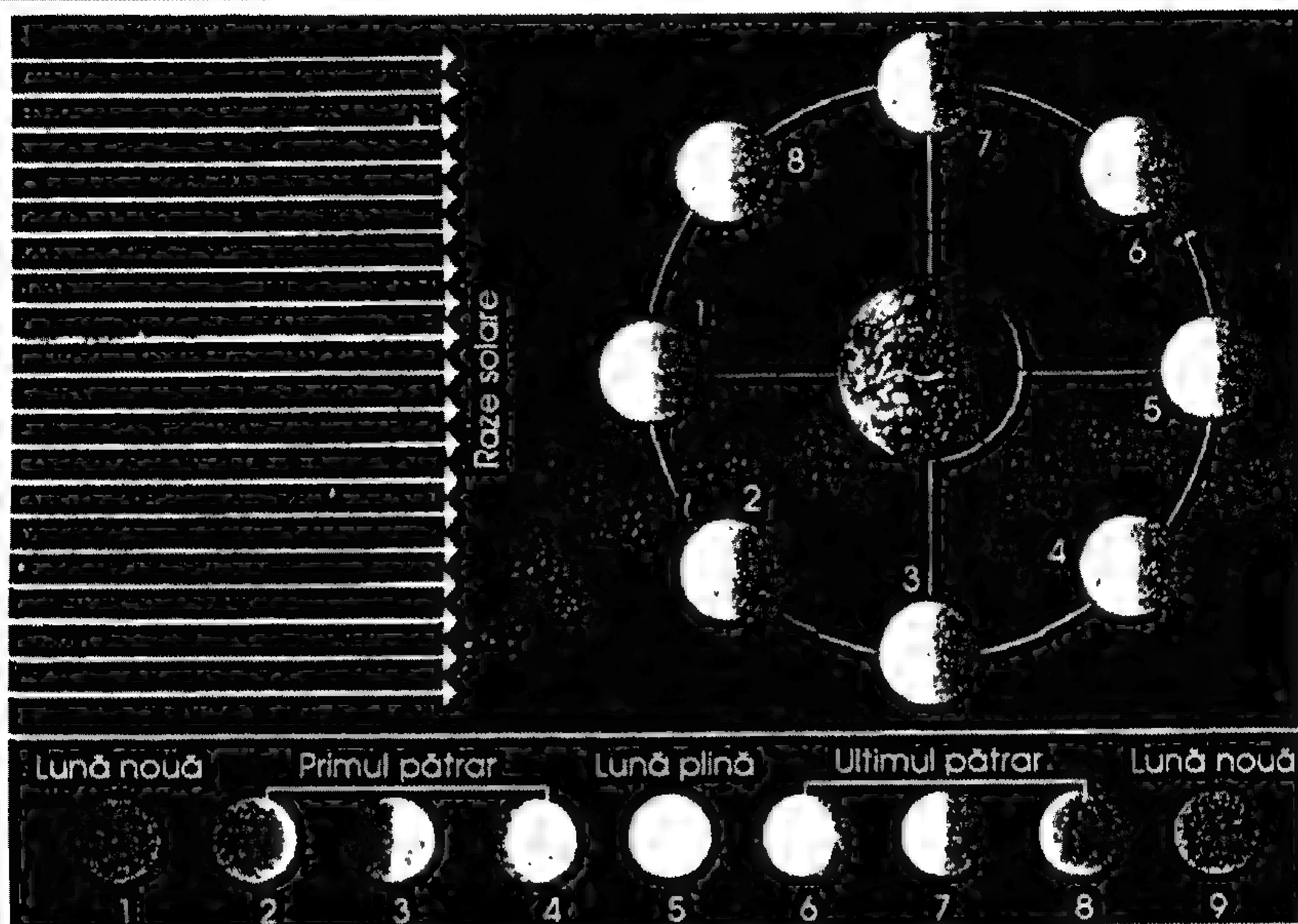
Este perioada de rotație a Lunii în jurul axei sale, care corespunde rotației Lunii în jurul Pământului. De aceea, pentru un observator terestru este vizibilă întotdeauna aceeași față a Lunii.
Ca urmare a rotației combinate și a vitezei uniforme de deplasare pe orbită, de pe Pământ se observă 59% din suprafața Lunii. Prin intermediul sondelor spațiale au fost observate și structurile de suprafață de pe partea ce este în permanență invizibilă de pe Pământ.

Fazele Lunii

Formele zonei luminate a Lunii care iau naștere ca urmare a schimbării periodice a poziției în timpul rotației în jurul Pământului, relativ la Pământ și Soare. Prin aceasta, fața vizibilă a Lunii este iluminată în mod diferit.

Vârsta selenară. Perioadă de timp scursă de la ultima lună nouă.

Lumina cenușie. Lumină slabă, de culoare cenușie (lumină terestră), apărută pe porțiunea întunecată a Lunii cu puține zile înainte sau după luna nouă, datorată reflectării razelor Soarelui de către Pământ.



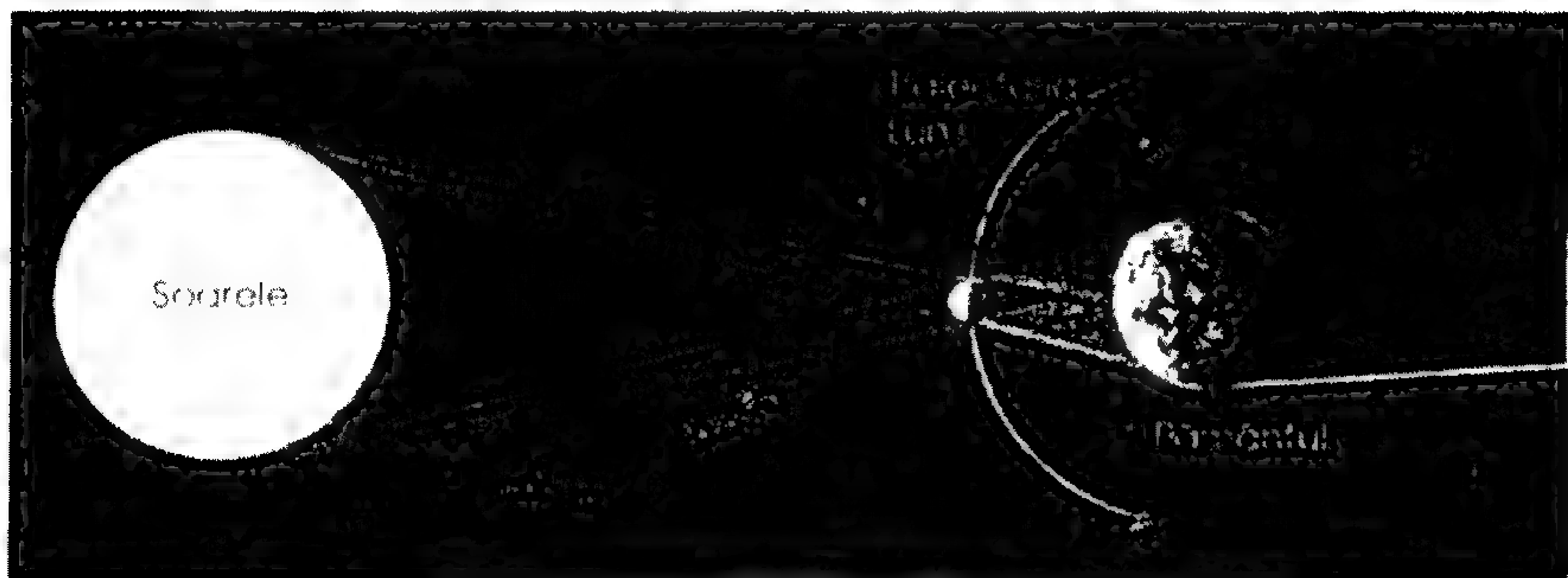
Formarea fazelor Lunii (schemă)
sus: formarea fazelor Lunii; jos: fazele Lunii pentru un observator de pe Pământ

Eclipsele

Umbriri produse de Pământ și de Lună. Acestea apar când Luna se găsește în faza de Lună plină sau de Lună nouă și, concomitent, se află în apropierea unuia dintre nodurile sale.

↗ Mișcările Lunii, p. 76.

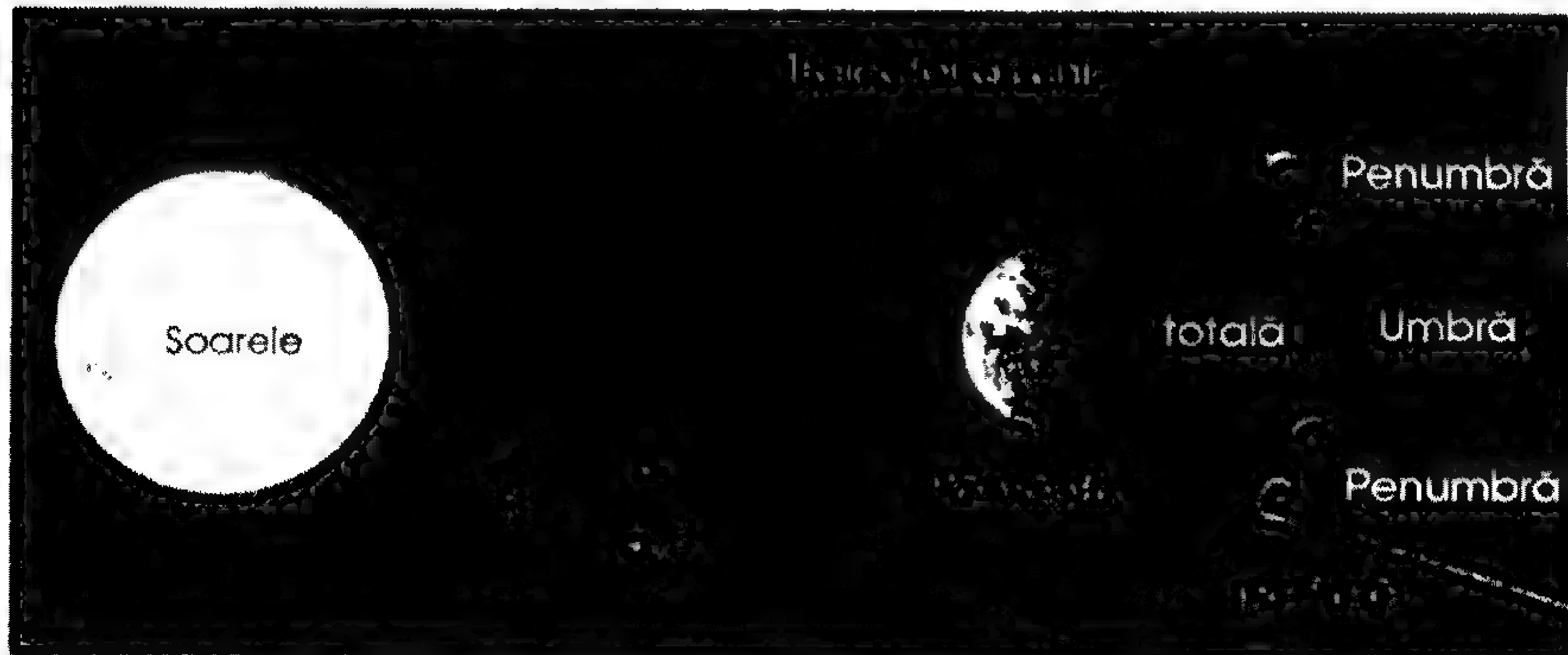
Eclipsele de Soare. Apar atunci când Pământul, la Lună nouă, traversează conul de umbră al Lunii.
La *eclipsele totale de Soare*, pentru observatorul terestru, discul solar este acoperit în totalitate de Lună. Întrucât conul de umbră acoperă suprafața Pământului pe o lățime de maximum 273 km și se deplasează de la vest la est, în medie cu 35 km/minut, eclipsa totală de Soare este vizibilă doar pe o porțiune restrânsă a suprafeței terestre și pentru un timp scurt (maxim 7,6 minute).
Atunci când Luna se află la o depărtare relativ mare față de Pământ, conul de umbră al Lunii nu poate atinge suprafața terestră, diametrul său aparent este mai mic decât cel al Soarelui. Pentru observatorul de pe Pământ ia naștere o *eclipsă inelară* de Soare.
La *eclipsele parțiale*, pentru observatorul de pe Pământ este acoperită doar o parte a discului solar. Întrucât penumbra se formează în ambele părți ale zonei de totalitate, eclipsa parțială de Soare poate fi observată pe teritorii mult mai extinse.
Anual se produc de regulă două – trei eclipse solare. În mod excepțional, în unii ani se pot produce cinci eclipse de Soare (de exemplu, în 2206).





Eclipse solare; Sus: eclipsă inelară – Jos: eclipsă totală

Eclipsele de Lună. Se produc atunci când Luna trece prin conul de umbră al Pământului. Asemenea eclipse sunt vizibile din întreaga emisferă terestră opusă Soarelui în momentul respectiv. Durata totală a lor ajunge la 3,5 h. Conul de umbră al Pământului este iluminat şi are o culoare roşu–cărămizie. Aceasta se datorează refractării luminii roşii solare de undă lungă şi a împrăştierii şi absorbirii luminii albastre de undă scurtă. Atunci când Luna se află la o depărtare mai mare de nodurile sale, doar o parte a discului selenar intră în conul de umbră al Pământului. Astfel se produce o eclipsă parţială de Lună. Anual se produc circa două eclipse de Lună.

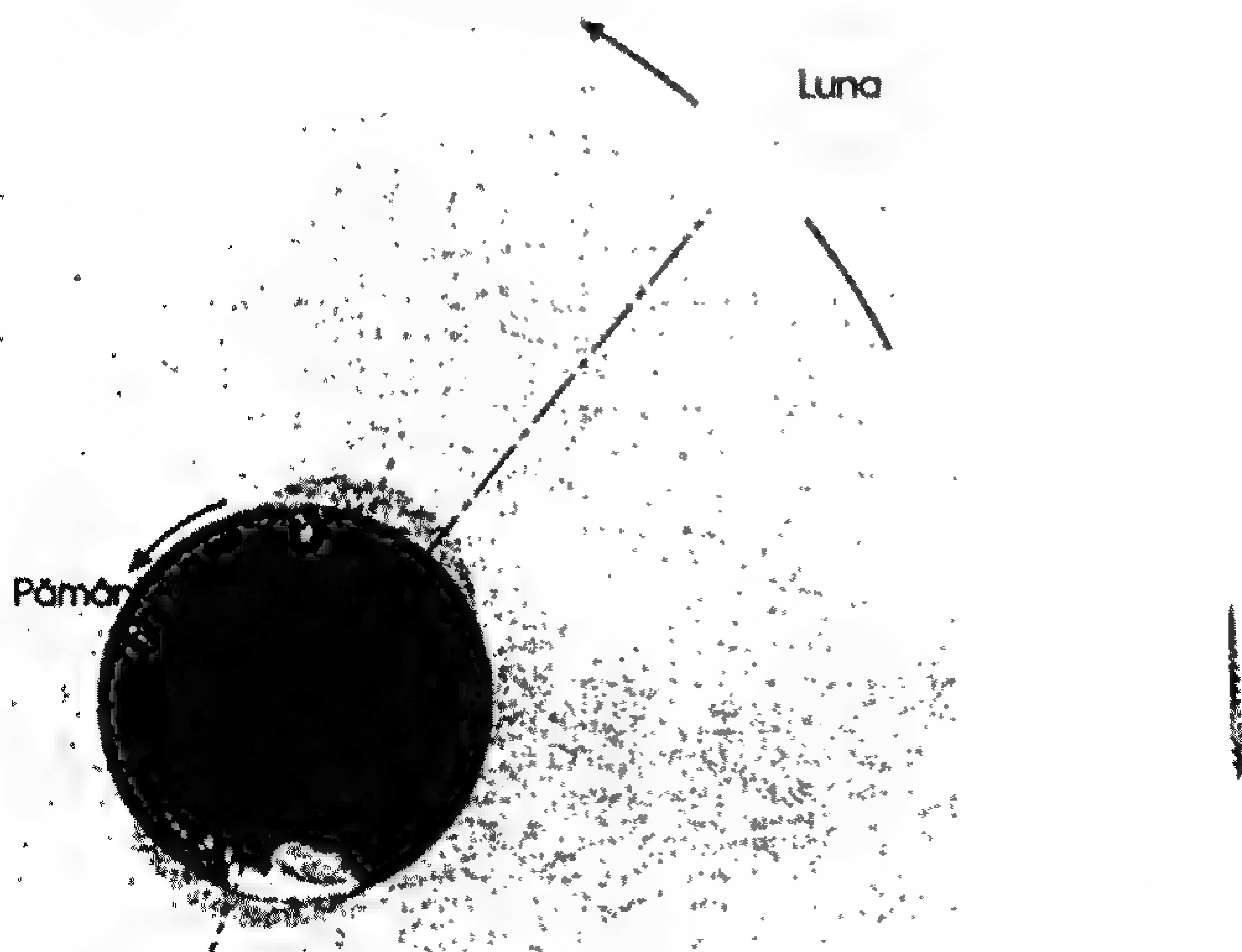


Eclipsă de Lună

Ciclul Saros. Poziţia relativă a Soarelui, Pământului şi Lunii, unul faţă de celălalt; se repetă aproape exact după 18 ani şi 10,5, respectiv 11,3 zile (în funcţie de numărul anilor bisecţi).
Ca urmare, eclipsele se repetă în acelaşi ciclu, fapt ce le era deja cunoscut în antichitate babilonienilor.

Mareele

Ca urmare a apropierii faţă de Pământ, atracţia gravitaţională a Lunii (şi într-o mai mică măsură chiar şi a Soarelui), produce o mişcare periodică de urcare – coborâre a hidrosferei terestre (iar, cu amplitudini mai mici, şi a atmosferei şi litosferei).
Prin acţiunea forţei de atracţie gravitaţională a Lunii se produc mareele. La un interval de 12 h şi 25 min se succed două stadii, acela al apelor ridicate (fluxul) şi acela al celor scăzute (refluxul).
Intervalul de 12 h şi 25 min poartă numele de maree. Nivelul maxim şi cel minim al apelor sunt desemnate ca „apele înalte", respectiv „apele scăzute".
Cauza generării mareelor o reprezintă forţele de atracţie şi forţele centrifuge exercitate de Pământ şi Lună, care se deplasează în jurul unui centru de greutate aflat în interiorul Pământului. Prin acest proces ia naştere o forţă centrifugă, ce se suprapune forţei de atracţie. Aceasta este mai mare pe partea situată spre Lună, decât pe partea opusă Lunii. Prin aceasta apar două maximumuri, pe „dedesubtul" cărora se roteşte zilnic Pământul.
La Lună plină şi la Lună nouă, forţa de atracţie a Soarelui, ce se adaugă în ecuaţie, generează o maree înaltă.
În primul şi în ultimul pătrar, forţa de atracţie a Soarelui micşorează amplitudinea mareelor (flux uşor).



Acţiunea mareelor

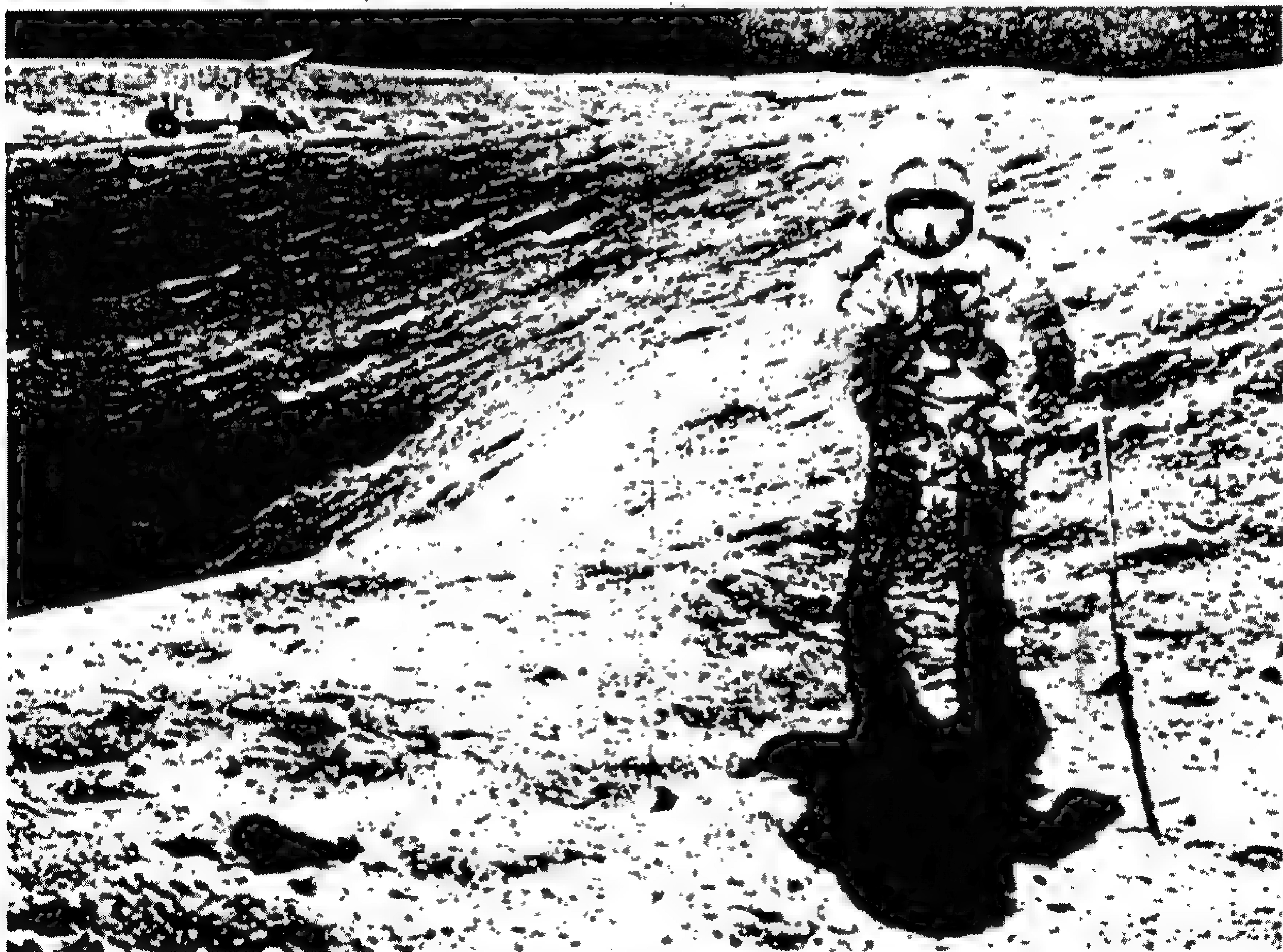
Caracteristicile fizice ale Lunii

Acestea sunt, datorită masei mici a Lunii, fundamental diferite de cele ale Pământului.

Ceea ce nu există pe Lună	– atmosferă – lumină difuză – apă – fenomene meteorologice – eroziune prin apă și vânt – sedimentare – sunete

Formele de relief de pe Lună

Întrucât Luna nu are atmosferă și este cel mai apropiat corp ceresc, pe suprafața sa pot fi observate, chiar cu ochiul liber, regiuni mai luminoase și regiuni mai întunecate. Folosind o lunetă, regiunile mai luminoase se dovedesc a fi munți, iar cele întunecate – vaste câmpii.



APOLLO 16 - Astronautul Duke recoltează roci selenare

- Cu lunete puternice pot fi observate chiar și detalii cu dimensiuni de până la 100 – 200 m.

  Misiunile spațiale care au ajuns pe Lună au fotografiat fața ascunsă a satelitului nostru natural și au adus pe Pământ probe de rocă pentru investigații științifice. Prin aselenizarea astronauților au putut fi cercetate direct porțiuni limitate ale suprafeței celui mai apropiat corp ceresc de Pământ.

Forme de relief selenare	Caracteristici
Structura de bază	
Mări selenare maria (lat. mări)	Câmpii întinse, acoperind circa 3/10 din fața vizibilă și 1/10 din fața invizibilă a Lunii.
Continente selenare	Regiuni cu râpe și prăpăstii, acoperind 7/10 din fața vizibilă și 9/10 din faza invizibilă a Lunii.
Lanțuri muntoase	Munți asemănători lanțurilor muntoase de pe Terra, la marginea mărilor (înălțimi de până la 6000 m deasupra nivelului mediu al suprafeței selenare).
Cratere – formă de relief foarte răspândită pe suprafața Lunii, îndeosebi în regiunile continentale. Pe fața vizibilă a Lunii se află circa 300 000 de cratere.	Depresiuni circulare, de diferite mărimi, având adesea un fund foarte plat, aflat la altitudine mai mică decât regiunile învecinate craterului. Craterele sunt înconjurate de un perete inelar. Deseori, în mijloc se află un munte central.

Forme de relief selenare	Caracteristici
Structura de bază	
Munți circulari	Cratere mari înconjurate de un „perete” de câțiva km înălțime și cu un diametru de până la 200 km.
Sisteme de radiatii	Radiații luminoase radiale, rectilinii sau curbate care pun în evidență umbre de intensitate redusă și traversează mările și continentele, cea mai mare dezvoltare a lor atingând 1800 km.
Șanțuri	Întâlnite în mări și la marginea acestora (până la 10 km lățime, peste 100 m adâncime și mai mult de 100 km lungime).
Compoziția	
Solul lunar	Strat de alterație (regolit), de 6 – 12 m grosime, compus din: – spărtură fină și de mari dimensiuni; – praf; – particule stâncoase. Bazalt în stratul de lavă întărit ce acoperă mările.
Roca lunară	*Probă de rocă adusă de astronauți pe Pământ*



Fața vizibilă a Lunii



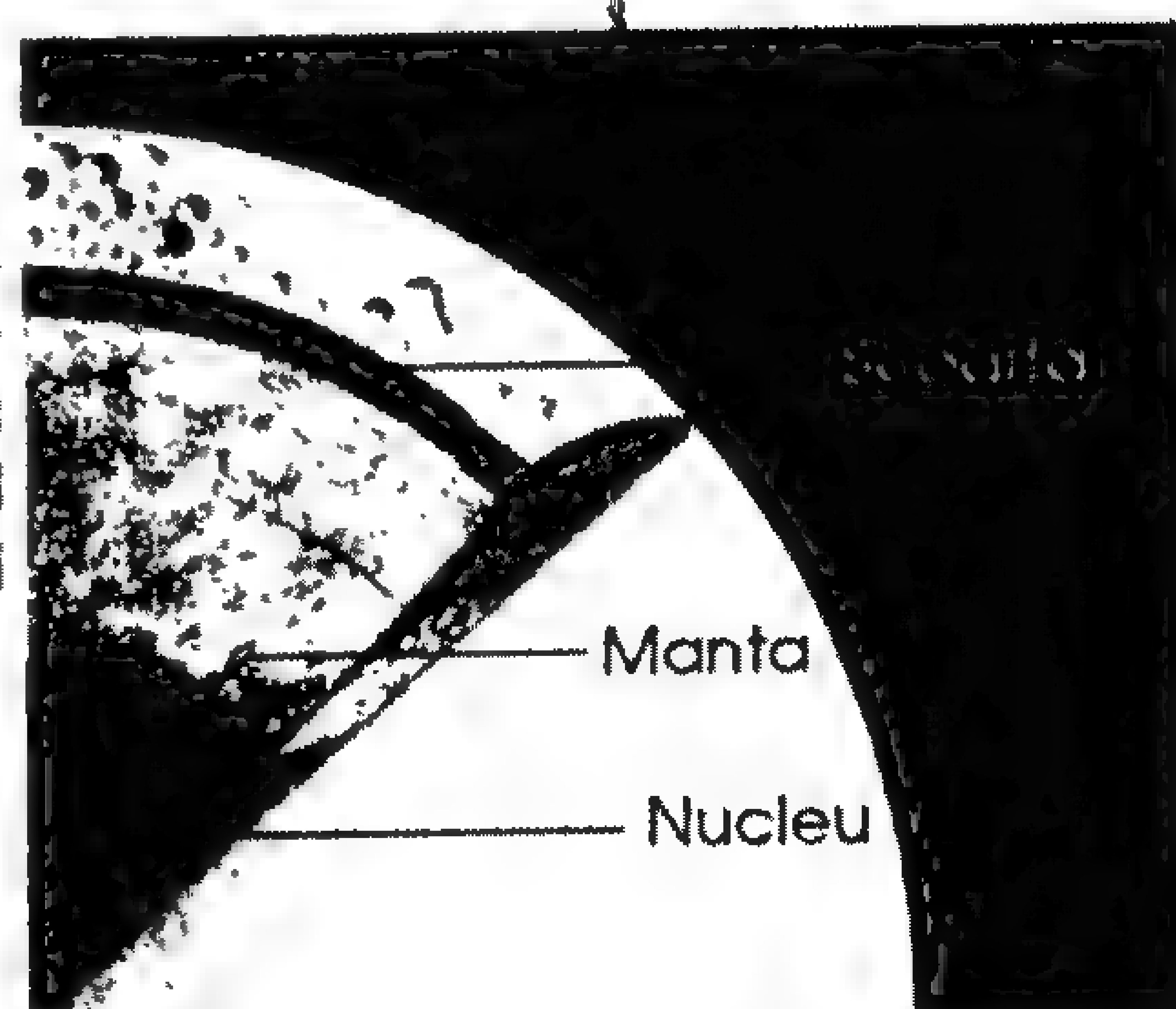
Fața invizibilă a Lunii

Formarea suprafeței selenare. Forțele exogene (impactul meteoriților) și procesele endogene (vulcanismul) au dus la modelarea suprafeței Lunii. Mările și craterele au luat cu siguranță naștere în „preistoria" satelitului natural al Pământului datorită ciocnirii cu corpuri cu masă mare și densitate ridicată. Ulterior, mările au fost umplute cu lavă bazaltică, aceasta ajungând la suprafață ca urmare a proceselor de topire ce se desfășurau în interiorul Lunii. Acumularea de roci cu densitate ridicată pe suprafața mărilor a dus la concentrări de masă (mascons); acestea sunt responsabile pentru anomaliile locale gravitaționale înregistrate pe suprafața satelitului nostru natural. În afara unor emanații de gaze, pe Lună nu mai există, se pare, activitate vulcanică. Suprafața Lunii, formată cu mult timp în urmă, a fost treptat transformată de micrometeoriți, radiația cosmică și vântul solar în regolit.

↗ Teorii moderne, p. 97.

Structura internă a Lunii

Structură asemănătoare Pământului (învelișuri). Luna este formată, în principal, dintr-un înveliș de rocă solidă (litosferă). Probabil, la începutul evoluției Lunii, în centru s-a format și un nucleu metalic.



Structura internă a Lunii

Cutremurele lunare. Oscilații ale corpului Lunii, determinate de impactul cu meteoriții și de procesele endogene. Spre deosebire de cutremurele terestre, cutremurele de pe Lună durează adesea ore întregi.

SATELIȚII CELORLALTE PLANETE

Cu excepția planetelor Mercur și Venus, în jurul tuturor planetelor din Sistemul Solar se rotesc sateliți.

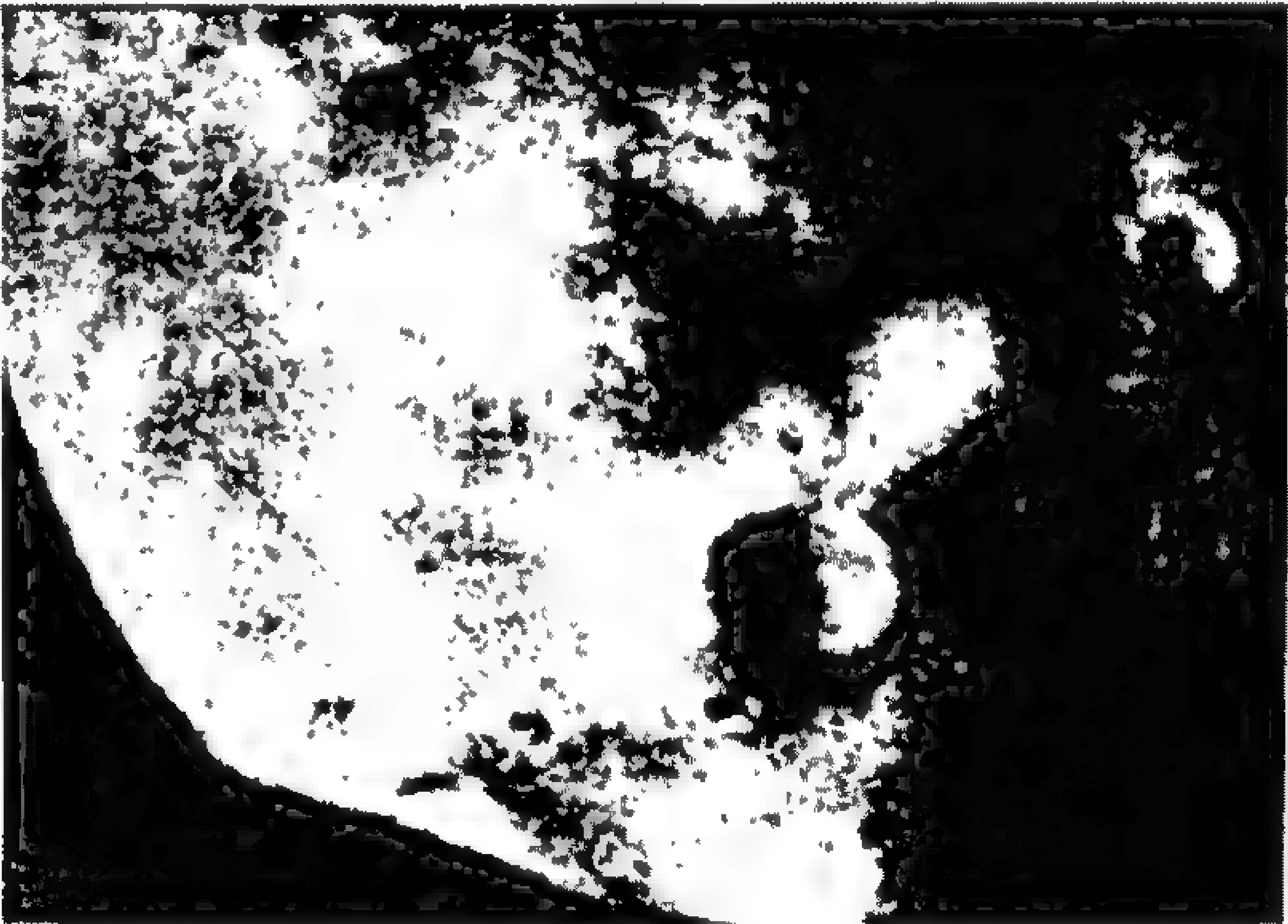
↗ Sateliți naturali, p. 75.

Sateliții lui Marte

Marte			
Nume	Distanța medie față de planetă (în 10^3 km)	Perioada de rotație în jurul planetei (în zile)	Dimensiunile (în km)
Phobos Deimos	9,4 23,5	0,32 1,26	27 × 21 × 18 15 × 12 × 10

Corpuri cerești cu formă neregulată, cu o suprafață bogată în cratere (în parte cratere relativ mari), constituite din roci a căror culoare este cenușiu-închis. Suprafețele lor sunt acoperite cu regolit. Phobos este acoperit cu un strat întunecat de praf și prezintă lungi încrețituri întunecate.

■ Cele două mari cratere de pe Phobos au diametrul de 12 km (Stickney), respectiv 5 km (Hall).



Phobos

Sateliții planetelor jupiteriene

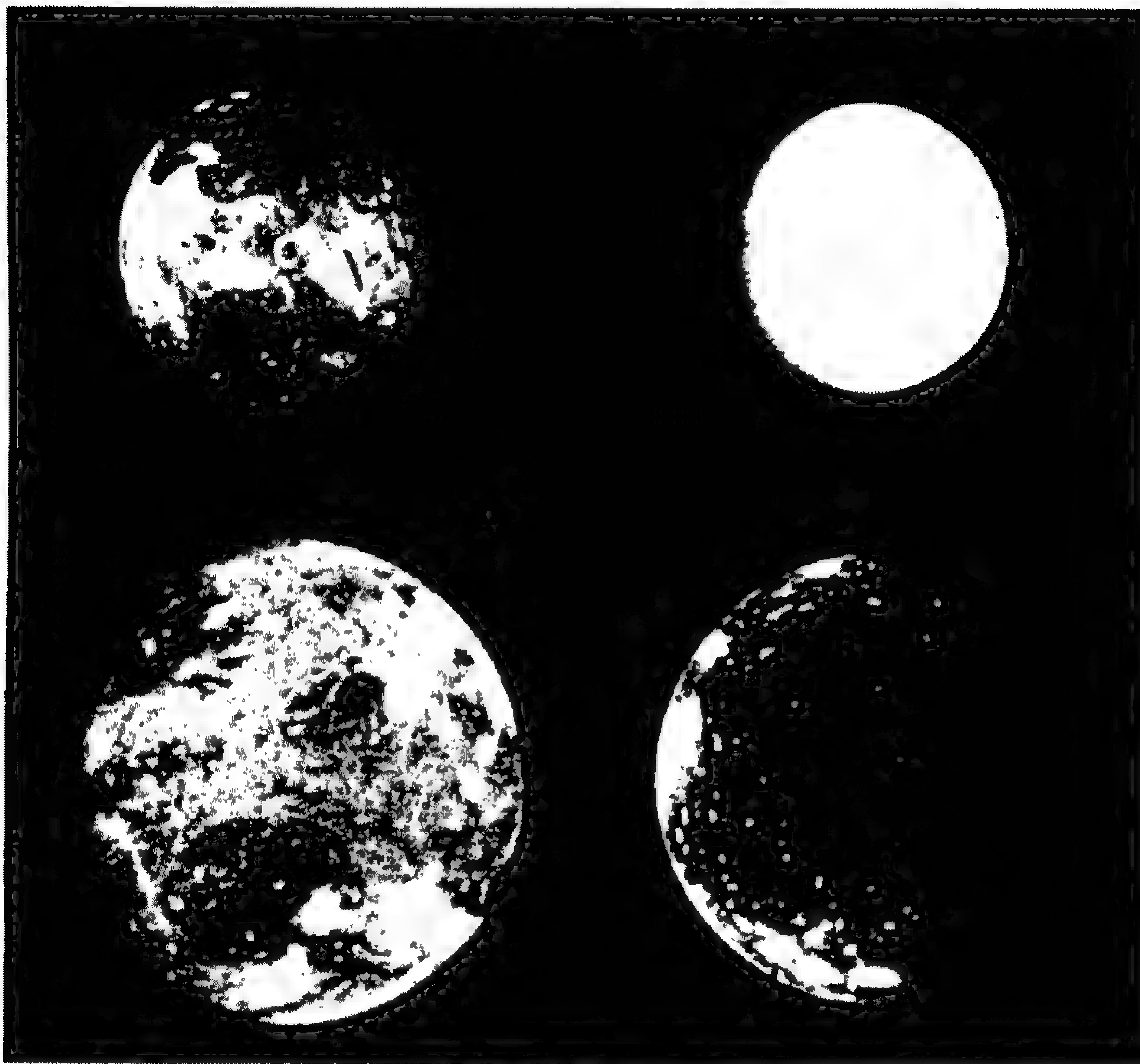
Până acum sunt cunoscuți peste 55 de sateliți care se învârt în jurul lui Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun. Cei mai mulți au fost descoperiți cu ajutorul sondelor spațiale.

Numele planetei	Numărul de sateliți
Jupiter Saturn Uranus Neptun	cel puțin 16 cel puțin 17 (număr probabil 23) cel puțin 15 cel puțin 8 (6 sateliți pitici)

Sateliții cu raze mari au apărut cu siguranță în același timp cu planetele respective și formează împreună cu acestea un sistem ordonat. Sateliții cu raze mici sunt probabil foste corpuri planetare de mici dimensiuni, atrase de câmpul gravitațional al planetelor.Unii prezintă forme neregulate.

Sateliții lui Jupiter

Jupiter prezintă un sistem de sateliți. Din cei 16 sateliți cunoscuți ai lui Jupiter, cei mai mari sunt Io, Europa, Ganimede și Callisto. Ei au fost descoperiți încă din anul 1600 de către Galilei și, din această cauză, poartă și numele de „sateliți galileeni".



„Sateliții galileeni" Io, Europa, Ganimede și Callisto

Mărimi caracteristice ale sateliților galileeni					
Nume	Distanța față de Jupiter (în 10^3 km)	Perioada de rotație în jurul planetei (în zile)	Diametrul (în km)	Masa (în mase lunare)	Densitatea medie (în densități ale apei)
Io	421,6	1,77	3632	1,21	3,53
Europa	670,9	3,55	3126	0,66	3,03
Ganimede	1070	7,16	5276	2,03	1,93
Callisto	1883	16,69	4820	1,45	1,81

Caracteristici fizice ale „sateliţilor galileeni"

Io. Atmosferă rarefiată. Continuă activitatea vulcanică (în anul 1979 au fost observaţi 6 până la 8 vulcani activi). Curenţi de lavă de peste 100 km, probabil doar depozite de sulf.

Europa. Manta subţire din gheaţă de apă (posibil 100 km grosime) peste un nucleu de silicaţi. Nici o neregularitate a suprafeţei, formă sferică ideală. Suprafaţa prezintă o reţea de formaţiuni lineare (sistem de încreţituri).

Ganimede. Suprafaţa în parte bogată, în parte săracă în cratere. Deasupra o manta compusă din gheaţă de apă.
Numeroase încreţituri paralele, de 300 până la 400 m adâncime şi cu o lăţime de 100 până la 200 m.

Callisto. Crustă de nămol constituită din material meteoric compus din silicaţi. Numeroase cratere de impact.

Sateliţii lui Saturn

La Saturn sunt cunoscuţi 17 sateliţi, dar, probabil, numărul lor este de 23.

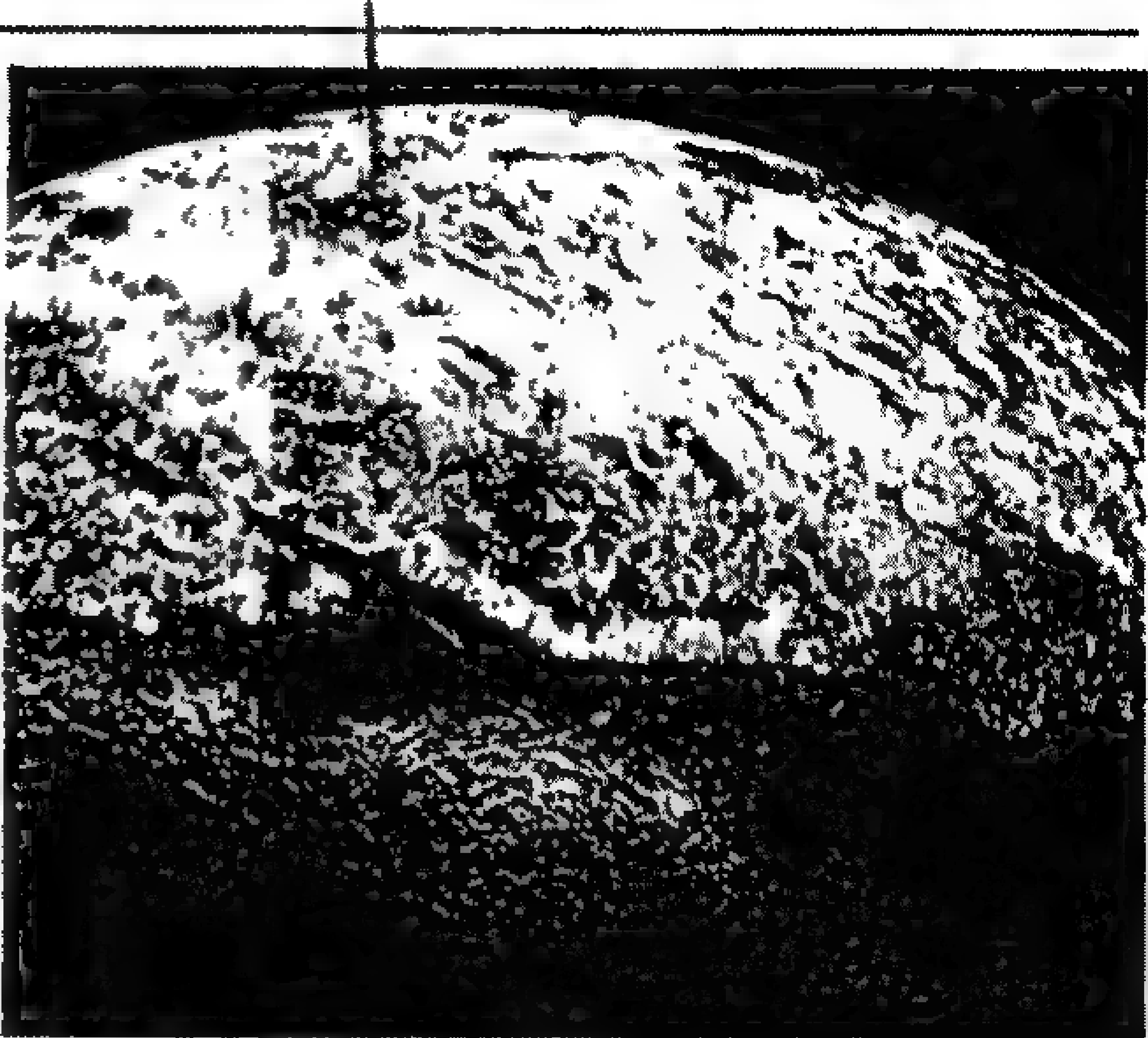
Mărimi şi caracteristici				
Nume	Depărtarea faţă de planetă (în 10^3 km)	Perioada de rotaţie în jurul planetei (în zile)	Diametrul (în km)	Caracteristici fizice
Titan	1221,8	15,95	5150	Atmosferă densă, cu mulţi nori, compusă din N_2 (85 %), Ar (12 %), CH_4 (3 %). Temperatura la suprafaţă de circa 90 K (ocean de CH_4 lichid)
Mimas	185,7	0,942	390	Crater cu un diametru de până la 100 km
Tethys	294,0	1,888	1050	Crater de impact
Dione	377,5	2,737	1120	Crater de impact
Rhea	527,1	4,518	1530	Crater de impact

Sateliţii lui Uranus

După datele actuale, Uranus are 15 sateliţi. Cinci dintre sateliţi au un diametru relativ mare (Titania: 1610 km, Oberon: 1550 km, Umbriel: 1190 km, Ariel: 1160 km, Miranda: 484 km).
Marii sateliţi sunt corpuri de gheaţă cu un nucleu compus din silicaţi. Pe lângă gheaţă de H_2O, pe aceşti sateliţi apare, probabil, şi gheaţă de NH_3 şi CH_4. Aceşti sateliţi prezintă, de asemenea, numeroase cratere.

Sateliții lui Neptun

Sunt cunoscuți opt sateliți ai lui Neptun. Doi dintre ei au fost descoperiți cu ajutorul telescopului, iar șase prin intermediul sondelor spațiale. Sateliții descoperiți de sondele spațiale au o suprafață neregulată și sunt așa-numiții sateliți - pitici. Diametrul lor este cuprins între 50 și 420 km.



Satelitul Triton al lui Neptun

Cel mai interesant satelit al lui Neptun este Triton, cu un diametru de 2 720 km și o densitate de 2,08 g/cm^3. Perioada sa de rotație în jurul planetei este de 5,9 zile, iar raza orbitei sale de 354 590 km. Triton are o atmosferă compusă din CH_4 și NH_3. Suprafața prezintă grabene, stânci, ca și forme de relief pozitive ce se înalță până la 1000 m. Ea este acoperită cu gheață de H_2O și probabil cu un strat subțire de CH_4 și NH_3. Sondele spațiale au detectat pe Triton două gheizere, care își proiectează conținutul de azot până la 8 km înălțime.

Satelitul lui Pluto

Până acum a fost descoperit un singur satelit al lui Pluto, care a primit numele de Charon. Raportul dintre masele lui Pluto și Charon, de 9:1, este unic în Sistemul Solar. De aceea, planeta și satelitul său mai poartă și denumirea de sistemul Pluto-Charon.



Pluto și satelitul său, Charon

Câteva date despre satelitul Charon	
Distanța față de Pluto (în 10^3 km)	probabil 18 x 2
Perioadă de rotație în jurul planetei (în zile)	6,38
Diametrul (în km)	probabil 1160 x 100

PLANETOIZII

Mici planete, numite şi asteroizi, din care doar cei mai mari au o forn sferică, majoritatea având formă neregulată, asemănătoare celei blocurilor de stâncă. În general, ei evoluează în jurul Soarelui într-un bră plasat între orbitele planetelor Marte şi Jupiter.

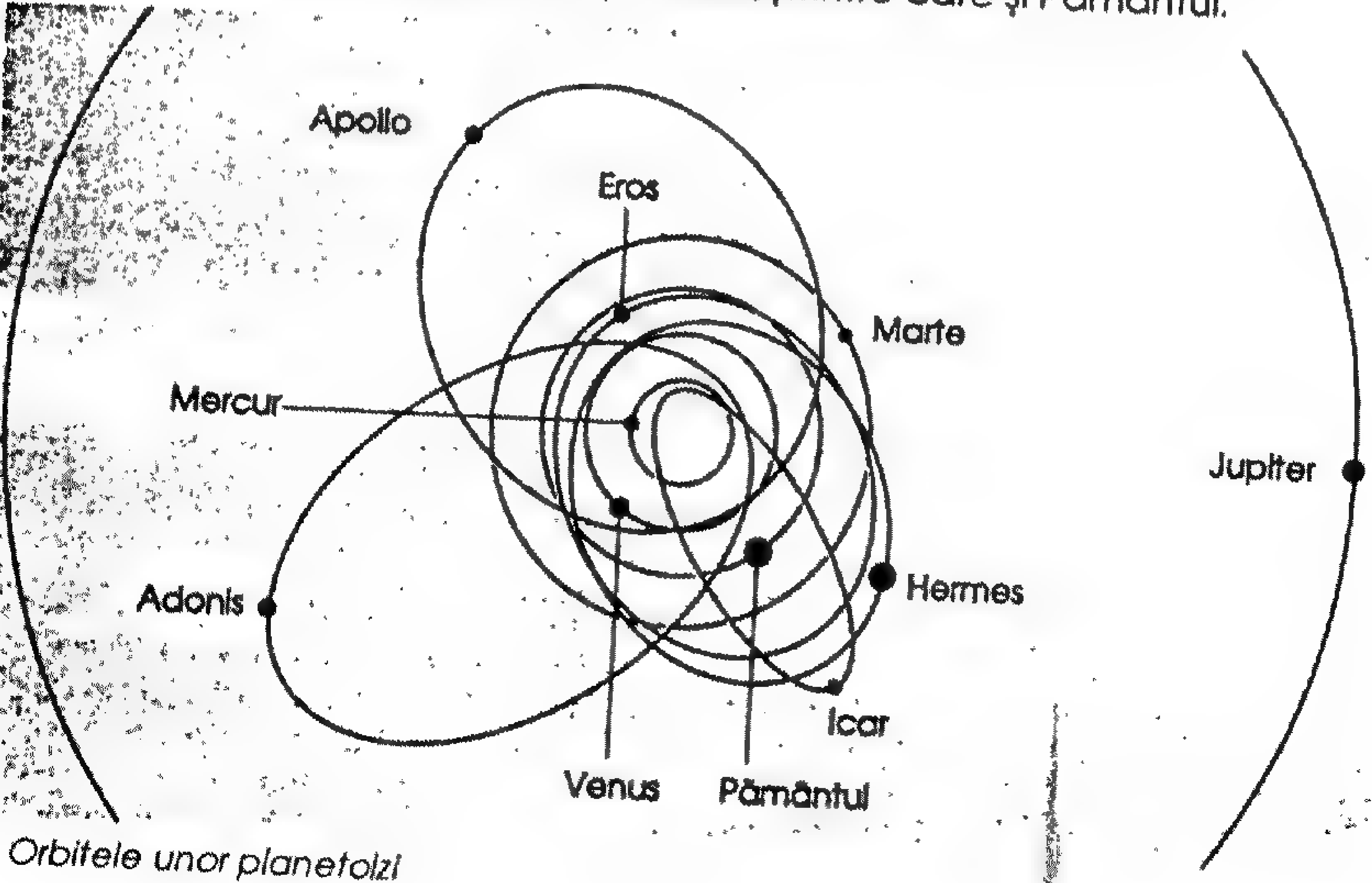
Mărime, număr, masă

Diametrul planetoizilor cunoscuţi variază între 1023 km (Ceres) şi aproximat 200 m (6344 P-L). Se apreciază că există circa un milion de planetoizi c căror diametru nu depăşeşte 60 km. Masa totală a planetoizilor este d circa $4 \cdot 20^{24}$ g (5% din masa lunară). Până astăzi, au fost înregistraţi aprox mativ 3 500 de planetoizi.

Nume	Diametrul (în km)	Masa (în kg)	Densitatea (în g/cm³)	Perioada de rotaţie (în ore)
Ceres	1023	$1,2 \times 10^{21}$	2,3	9,08
Pallas	692	$2,1 \times 10^{21}$	2,6	7,88
Vesta	579	$2,7 \times 10^{20}$	3,3	5,30

Distribuţie şi orbite

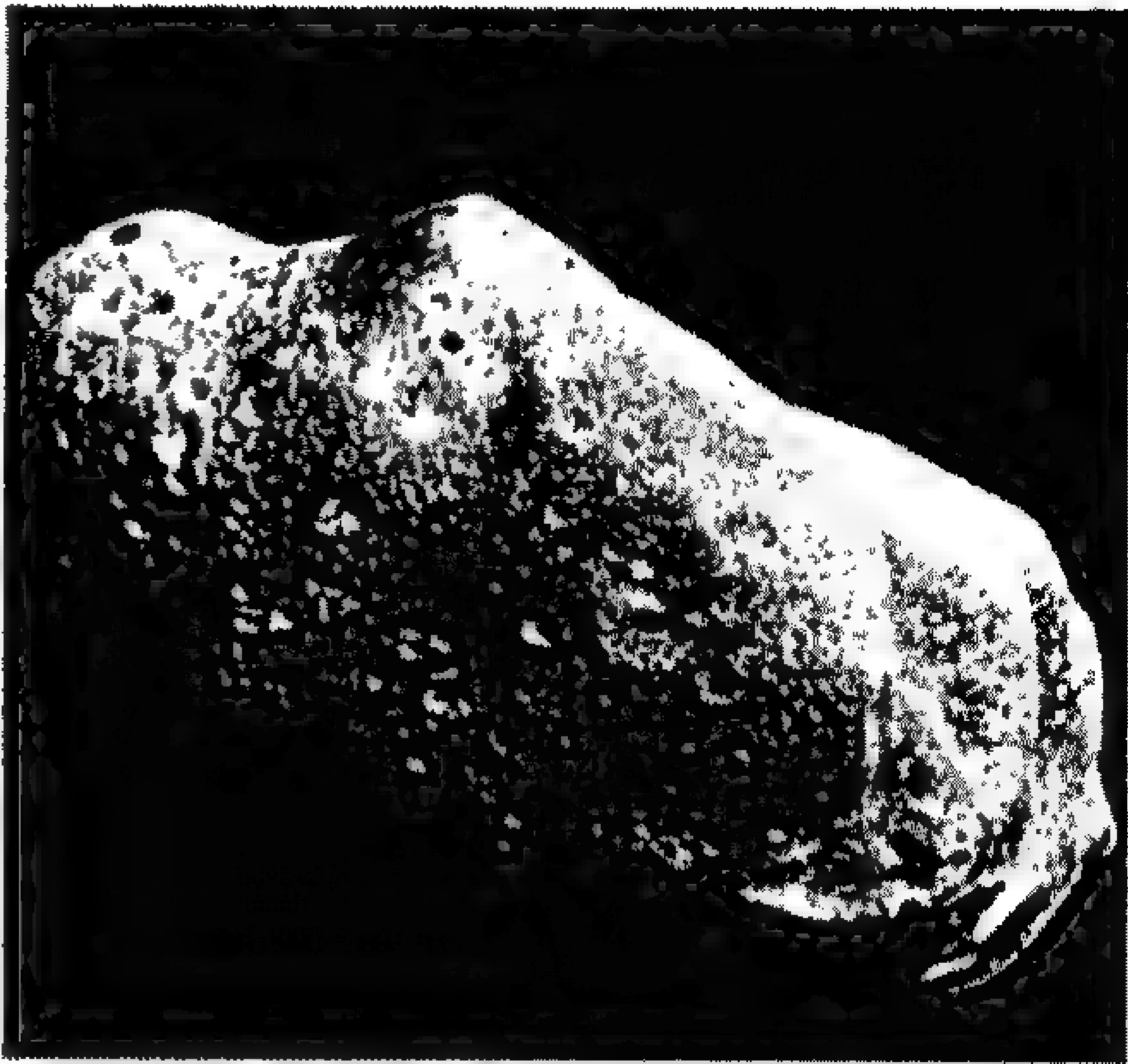
Planetoizii se mişcă în jurul Soarelui pe orbite elipsoidale, cu o excentricitate generală redusă. Distanţa lor medie faţă de Soare este de cca. 2,9 UA, iar perioada de revoluţie medie este cuprinsă între 3,2 şi 7 ani. Cele mai multe orbite ale planetoizilor se află între Marte şi Jupiter. Există asteroizi care intersectează şi orbitele altor planete, printre care şi Pământul.



Orbitele unor planetoizi

Structura

Planetoizii observați prezintă pe suprafața lor numeroase mici cratere și șanțuri. Planetoizii sunt compuși din derivați ai carbonului, silicați sau metale.



Planetoidul „243 Ida". Suprafața sa este punctată de numeroase cratere. Pot fi distinse detalii cu un diametru de până la 30 m. Planetoidul are o lungime de cca. 52 km. Imagine datorată sondei spațiale GALILEO.

COMETELE

Caracteristici

Cometele, numite și „stele pletoase" sau „stele cu coadă", sunt mici corpuri cerești, compuse din gaze, gheață și mici particule asemănătoare meteoriților. La o distanță suficientă de Soare, coama, în al cărei centru se găsește nucleul cometei, devine mai mare și mai luminoasă. La cele mai multe comete se formează apoi una sau chiar mai multe cozi vizibile. Până acum sunt cunoscute peste 700 de comete. Anual se descoperă în jur de șase noi comete.



Cometa Halley. Dimensiunile nucleului: 15 km × 8 km × 8 km. Densitatea gazului: 10^4... 10^6 molecule pe cm^3. Imagine datorată sondei spațiale GALILEO.

Structura cometelor

Parte componentă	Material, fenomene	Compoziție chimică	Apariție
Nucleu	Gheață de apă (cca. 80%), particule solide înghețate cu praf, crustă întunecată; Masă: cca 10^{10}... 10^{15} t.	C, H, O, N și, de asemenea, CO_2, NH_3, CH_4	Iluminare sub formă de punct sau de disc (sau de formă neregulată), strălucind în lumina solară reflectată.

Structura cometelor			
Parte componentă	Material, fenomene	Compoziție chimică	Apariție
Coamă	Nori de gaz cu particule meteoritice, urmare a degazeificării nucleului la apropierea cometei față de Soare. Diametru: 10^5... 10^7 km.	În special OH, NH, CN, C_2, CO^+ N_2^+, CH^+	Pată fibrilară care, la apropierea de Soare, devine tot mai mare și mai luminoasă, lumină reflectată de particulele de gaz și de praf.
Coadă	Materie îndepărtată din capul cometei de către vântul solar și presiunea radiației solare.		Apariție luminoasă datorată Soarelui; nu este vizibilă la toate cometele.

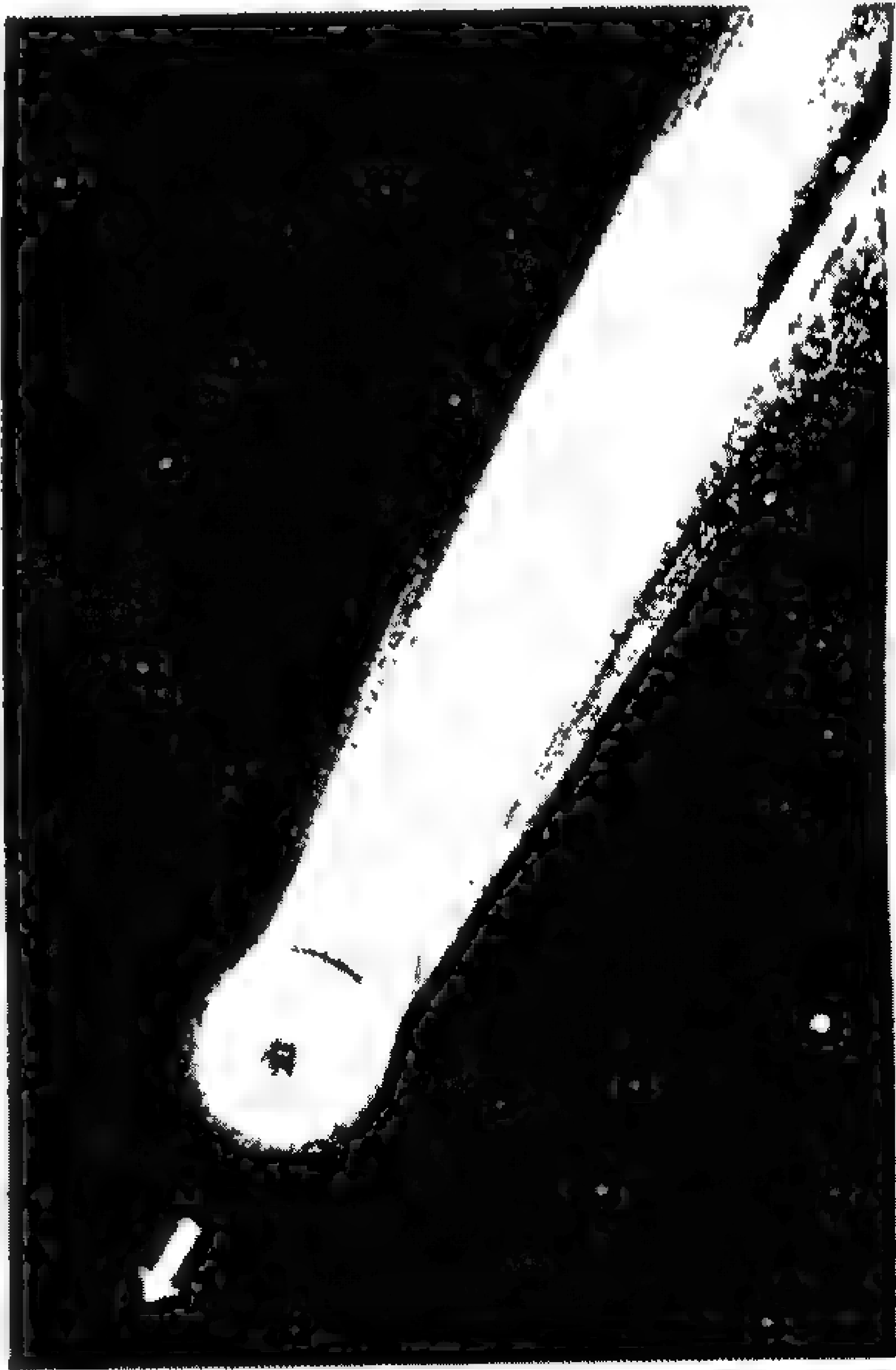
Coada de gaze (coada ionică). Molecule ionizate, îndepărtate din capul cometei. Până la 10^8 km lungime și 10^6 km lățime.

Coada de praf. Particule solide desprinse din capul cometei. Coada, în acest caz, are în general o formă curbată.

Orbitele

În general elipse mult alungite, cu o foarte mare excentricitate. Perturbațiile gravitaționale produse de stelele apropiate de Soare și de planete pot modifica orbita cometelor. După durata mișcării de rotație în jurul Soarelui, se deosebesc perioade lungi (de peste 200 de ani) și perioade scurte (sub 200 de ani). Orbita cometelor cu perioadă lungă ajunge, probabil, până în spațiul interstelar.

- Cunoscuta cometă Halley are o mișcare de revoluție de 76,08 ani. Cea mai scurtă perioadă cunoscută până acum aparține cometei Encke, și este de 3,31 ani.



Alcătuirea schematică a unei comete, cu nucleu, coamă și coadă.
Săgeata arată direcția în care se găsește Soarele.

Familii de comete. Totalitatea acelor comete ale căror orbite ajung până în vecinătatea unei mari planete. Ele iau naştere prin perturbaţii ale orbitelor, datorate planetelor cu masă mare.

- Familia Jupiter: circa 68 de comete cu o perioadă de revoluţie cuprinsă între 5 şi 11 ani

Volatilizarea

La fiecare apropiere de Soare, cometele pierd din materialul care intră în componenţa lor. De aceea, ele sunt obiecte cu o viaţă relativ scurtă. Durata vieţii unei comete cu perioadă scurtă este apreciată la câteva sute de mii de ani. Cometele se descompun treptat în gaze şi praf. Ele se pot sparge într-un număr de comete mai mici, sau pot să se transforme într-un corp mic şi întunecat, devenind un planetoid.

METEORII, METEORIŢII

Meteorii

Stelele căzătoare, observabile ca fenomene luminoase pe bolta cerească. Apar atunci când particule de praf interplanetar sau mici meteoriţi se aprind, prin frecare cu atmosfera terestră, la înălţimi cuprinse, în general, între 90 şi 100 km. Meteorii mai luminoşi decât cei din clasa de mărime -4^m sunt denumiţi *sfere de foc* (bolizi).

Într-o noapte senină, fără lună, pot fi observaţi cu ochiul liber circa şase până la opt meteori pe oră.



Sferă de foc

Ploile de meteori

Roiuri de meteori care, spre exemplu, se mişcă pe orbita unei comete periodice distruse. Când orbita Pământului intersectează orbita roiului de meteori, prezenţa meteorilor pentru un observator de pe Pământ e mai vizibilă. Urmele luminoase ale unei ploi de meteori provin aparent dintr-un anumit punct al bolţii cereşti, denumit punct radiant. Poziţia sa este determinată atât de direcţia de mişcare a ploii de meteori, cât şi de direcţia de mişcare a Pământului pe orbita sa.

Ploile de meteori sunt adesea denumite după numele latin al constelaţiei în care se găseşte punctul lor radiant.

Nume	Durata aproximativă a vizibilităţii	Momentul maximei străluciri	Numărul de meteori pe oră (vizual)
Quadrantide	1.01 până la 4.01	3.01	40
Lyride	20.04 până la 23.04	21.04	8
Perseide	29.07 până la 17.08	12.08	40
Leonide	11.11 până la 20.11	17.11	6
Geminide	6.12 până la 16.12	12.12	60

Meteoriţii

Mici corpuri solide, de mărimi diferite, care se învârt pe orbite eliptice în jurul Soarelui. Prin pătrunderea în atmosfera terestră, cei mai mulţi meteoriţi se volatilizează. Cei mai mari dintre ei ating suprafaţa planetei. Masa unui meteorit este mai mică decât cea a unui planetoid, dar mai mare decât a unei molecule.


Meteorit compus din fier

Origine. Se face deosebire între meteoriţi ce provin din comete distruse şi meteoriţi planetari, care sunt resturi ale coliziunilor dintre planetoizi.

Câteva date despre meteoriţi şi fenomenele la care aceştia dau naştere

Fenomenul	Diametrul (în mm)	Masa	Masa totală (în tone) care atinge suprafaţa terestră pe durata unei zile
Sfere de foc, căderi de meteoriţi	> 10	> 2 g	1
Stele căzătoare până la 6^m	1 până la 10	2 mg până la 2 g	5
Meteori telescopici	0,1 până la 1	0,002 mg până la 2 mg	20
Micrometeori	< 0,1	< 0,002 mg	10^3 până la 10^4

Repartizând uniform pe întreaga suprafaţă terestră cantitatea de material meteoric căzută, obţinem o creştere anuală a masei de 0,7 până la 7 kg pe km^2.

[illegible]

Tipul și frecvența descoperirii (în %)[1]	Compoziția chimică în % față de masa totală					
	Fe	Ni	Si	Mg	O	Co
Ferometeoriți (66)	90,8	8,6	–	–	–	0,6
Litometeoriți (26,5)	20,5	1,1	20,6	15,8	42	–
Fero-litometeoriți (7,5)	55,7	5,4	8,0	12,3	18,6	–

1) Datele se bazează pe frecvența descoperirilor. În realitate, cad mai mulți litometeoriți (93,5%) decât ferometeoriți (5%). Primii însă se degradează foarte repede, iar ultimii foarte încet.

Condritele. Mici sfere din silicat, cu un diametru de circa 1 mm. O subgrupă o constituie condritele carbonice, cu un mare conținut de carbon.

Vârsta. Timpul scurs din momentul formării meteoriților. Vârsta litometeoriților este de circa 4×10^9 – 5×10^9 ani.

Vârsta radiativă. Perioada de timp scursă din momentul în care corpul a fost expus radiației cosmice. Aceasta este de:
- 10^8 până la 10^9 ani la ferometeoriți;
- 10^6 până la 10^8 ani la litometeoriți.

↗ Sistemul Solar, p. 96;
↗ Stabilirea vârstei proceselor cosmice, p. 161.

Descoperiri de meteoriți

Printre meteoriții ajunși pe suprafața Pământului, au fost găsiți litometeoriți cu o masă de până la o tonă. Cel mai mare ferometeorit cunoscut are o masă de circa 60 t. Meteoriții cu masa de peste 100 t se volatilizează la impact. Rămân doar mici urme de material meteoritic.

Câteva locuri în care au fost descoperiți ferometeoriți

Locul	Masa în tone
Campo de Cielo (Argentina)	13
Mundrabilla (Australia)	12
Bacuberito (Mexic)	27

- În Antarctica au fost descoperiți meteoriți a căror compoziție este asemănătoare cu a solului Lunii sau al lui Marte.

- Mare crater meteoritic: craterul Cannon Diablo, din Arizona
Diametrul 1265 m, adâncimea 174 m, circa 30 t de material meteoritic descoperit; masa presupusă a meteoritului a fost de 107 t, diametrul de 150 m. Impactul meteoritic a avut loc probabil acum 20 000 de ani.

- Ries–Kessel (Germania) – diametru de 25 km; căderea meteoritică s-a produs în urmă cu circa 1,5 × 10^7 ani.
- În Tunguska (Siberia), în 1908 a explodat deasupra suprafeței terestre un obiect cosmic (meteorit de mari dimensiuni sau nucleul unei comete?) care a provocat distrugerea totală a pădurii pe o rază de 65 km.

MATERIA INTERPLANETARĂ

Denumire pentru gazul, plasma și praful cu un diametru de până la 1mm aflate în Sistemul Solar, adică în câmpul gravitațional al Soarelui.

Gazul interplanetar și plasma interplanetară

Există ca produse reziduale din timpul formării Sistemului Solar, ca vânt solar (plasmă ionizată și particule eliberate în perioada erupțiilor solare) și ca gaz interstelar (H, He), atras de câmpul gravitațional al Soarelui.

Praful interplanetar

Particule de praf de aproximativ 1 mm diametru, adesea desemnate ca micrometeoriți. Ei iau naștere din ciocnirea planetoizilor, prin eliberarea de către comete în apropierea Soarelui a particulelor solide aflate în componența nucleului și coamei, ca și prin pătrunderea în Sistemul Solar a prafului interstelar (proces până acum puțin cunoscut).

- Misiunea spațială care a avut drept țintă cometa Halley a scos în evidență faptul că acest corp, la o distanță de 0,9 UA față de Soare, eliberează până la 20 de tone de praf pe secundă. Zilnic, pe Pământ cad aproximativ 40 de tone de praf interplanetar.

Lumina zodiacală. Aceasta este un con slab de lumină ce se înalță deasupra orizontului vestic după apusul Soarelui, și deasupra orizontului estic înainte de răsăritul Soarelui.
Acest fenomen se observă cel mai bine la tropice. În emisfera nordică, în condiții favorabile, fenomenul poate fi observat seara, la începutul primăverii, și dimineața, la începutul toamnei. Lumina zodiacală este lumină solară disipată de praful interplanetar (cu dimensiuni de la câțiva μm la 300 μm).



Lumină zodiacală

Norii luminoși. Fenomen datorat prafului interplanetar, ce poate fi observat în lunile de vară, la latitudini cuprinse între 50° și 70°, la înălțimi de până la 85 km. Cauza este frânarea în atmosfera terestră a particulelor de praf.

FORMAREA SISTEMULUI SOLAR

Vârsta Sistemului Solar

Perioada de timp scursă din momentul formării Sistemului Solar.
Determinată prin:
- Studierea timpului de înjumătățire a unor elemente radioactive (de exemplu U, Th);
- Analiza rocilor terestre și selenare și a meteoriților.

Rezultatul cercetărilor: vârsta Sistemului Solar este de circa $4{,}6 \cdot 10^9$ ani.

Cosmogonia Sistemului Solar

Reprezentări ale proceselor care au condus la formarea Sistemului Solar. Întrucât în Sistemul Solar există diferite corpuri cerești, mărturiile privind procesul de formare sunt greu de găsit. În afară de aceasta, observatorului nu-i stă la dispoziție nici un alt sistem asemănător. Există o mulțime de ipoteze, dar nici o teorie sigură. După condițiile inițiale, ipotezele se pot grupa în trei categorii:

– *Ipoteze catastrofice sau mareice;*
Corpurile planetare au apărut prin interacțiunea dintre Soarele deja existent și alte corpuri cerești. Forțele mareice desprind material din Soare și, prin mărirea densității, îl transformă în planete.

– *Ipoteze ale acreției;*
Soarele evoluează printr-un nor interstelar, adună gaze și praf din care, ulterior, se pot eventual forma planetele.

– *Ipoteze evoluționiste;*
Soarele și corpurile planetare au luat naștere toate din același material (nebuloasă primordială).

Teoria Kant – Laplace

Ipoteza nebuloasei a lui Kant (1755)	Ipoteza rotației a lui Laplace (1796)
Concentrația unui mare nor de praf, formarea în centru a Soarelui primordial.	Concentrația unui nor de gaz și de praf ce se rotea uniform, formarea unei nebuloase sub formă de disc (Soarele primordial).
Ciocnirea și îndesirea particulelor de praf în domeniile exterioare ale norului.	Mărirea vitezei de rotație a Soarelui primordial, forța gravitației nu mai este suficient de mare, separarea inelelor de gaz și praf ca urmare a forței centrifuge.
Formarea unor bulgări locali, pe care procesele gravitaționale îi transformă treptat în planete.	Creșterea densității în inelele de gaz duce la formarea planetelor.
Materialul constitutiv are o temperatură relativ coborâtă.	Materialul constitutiv are o temperatură relativ ridicată.

Teoriile moderne au la bază aceste ipoteze.

Legile cosmogonice

Legi descoperite ale Sistemului Solar ce pot fi explicate numai prin mo de formare a acestuia.

- Orbitele quasicirculare ale planetelor se află aproape în acelaşi plan
- Majoritatea planetelor şi sateliţilor au acelaşi sens de rotaţie, care corespunde cu sensul de rotaţie al Soarelui.
- Soarele înglobează aproape întreaga masă a sistemului, corpurile planetare conţinând doar cu 1/750 din masa totală.
- Soarele posedă doar 2% din impulsul de rotaţie al sistemului, 98% din impulsul de rotaţie regăsindu-se în mişcarea de rotaţie a planetelor în jurul Soarelui.
- Planetele cu mase mari, raze mari şi densităţi reduse evoluează în domen exterior, iar planetele cu mase mici, raze mici şi densităţi mari evoluea în domeniul intern al Sistemului Solar.
- Relaţia numerică dintre distanţele planetelor faţă de Soare este stabili cu aproximaţie de către şirul Titius - Bode.

↗ Şirul Titius – Bode, p. 51.

Teoriile moderne

Teoriile actuale ale formării Sistemului Solar, completate în special pr rezultatele zborurilor spaţiale.

Nebuloasă solară primordială	– Contracţia unui nor interstelar format din gaze şi praf – Formarea unei protostele (Soare primordial) în centru care se roteşte din ce în ce mai repede; – Dispunerea materiei sub formă de disc în jurul Soarelu primordial; – Câmpurile magnetice transmit un impuls în continuă creştere de la Soarele primordial la discul solar.
Planetezimalele (mici corpuri din care s-au format planetele)	– Scăderi de temperatură şi fluctuaţii ale densităţilor în discul solar; – Condensarea gazelor din nebuloasă ca urmare a unor reacţii chimice; – Apariţia unor particule mai stabile, care se măresc continuu (planetezimale); – Diferenţieri în ceea ce priveşte compoziţia chimică şi densitatea produselor de condensare în raport cu distanţa faţă de Soare.
Protoplanetele (treaptă anterioară apariţiei planetelor)	– Coliziuni şi contopiri ale planetezimalelor învecinate (acreţie); – Creştere rapidă a fragmentelor de sine stătătoare, formarea unui câmp gravitaţional propriu.

[illegible]	Procese, fenomene, urmări
Protoplanetele (continuare)	– Câmpul magnetic al fragmentelor mari atrage materia condensată învecinată; – Creşterea fragmentelor duce la apariţia protoplanetelor; – Căderea planetezimalelor pe suprafaţa protoplanetelor; – Procesele energetice duc la stratificarea materialului ce intră în componenţa noilor planete, stratificare aflată în concordanţă cu densităţile acestora.
Soarele	– Declanşarea proceselor nucleare; – Contracţia Soarelui primordial încetează; – Radiaţia electromagnetică şi radiaţia de particule a Soarelui favorizează procesele de condensare ce mai au încă loc în discul solar.
Planetele Pământul	– Evoluţie diferenţiată în funcţie de modul de formare; – Planetele îndepărtate de Soare au putut, graţie marii lor mase, să păstreze mult H şi He; – Planetele apropiate de Soare nu au putut, din cauza masei lor reduse, să păstreze atmosfera primordială; – Atmosfera terestră actuală nu este un rest al nebuloasei solare, ci un rezultat al degazeificării terestre şi al activităţii vulcanice; – Eliberarea de oxigen în atmosfera terestră, dezvoltarea vieţii.
Sateliţii	– Mulţi sateliţi sunt, probabil, planetezimale captate. – Marii sateliţi ai planetelor jupiteriene au probabil o istorie asemănătoare cu cea a planetelor terestre; – Ipoteze ale formării Lunii: • condensări produse la nivelul inelului de praf din jurul Pământului; • separarea de Pământul primordial; • formare independentă de Pământ, captare ulterioară
Planetoizii	Planetezimale a căror creştere a fost blocată de forţa de gravitaţie a planetei Jupiter.
Cometele	Planetezimale în domeniul exterior al Sistemului Solar ce nu s-au putut transforma în corpuri planetare mai mari. Starea fizică şi compoziţia chimică a nucleului cometelor nu s-au schimbat din momentul formării Sistemului Solar.
Meteoriţii	Produse datorate coliziunii dintre planetezimale şi planetoizi, resturi ale descompunerii cometelor.

Stelele

Stelele

Corpuri cerești care emit lumină și care își obțin energia, de-a lungul evoluției lor, în urma procesului de fuziune nucleară. Sfere de gaz de masă mare și cu o temperatură înaltă, a căror integritate fizică este menținută prin propria forță de gravitație.

SOARELE

Soarele

Cea mai apropiată stea de Pământ. Soarele este o sferă de gaz a cărei integritate fizică este menținută prin propria gravitație.

Caracteristicile fizice ale Soarelui		
Diametru	1 392 520 km	aproximativ 109 diametre terestre
Volum	$1414 \cdot 10^{15}$ km^3	aproximativ 1300000 volume terestre
Suprafață	$6092 \cdot 10^{9}$ km^2	aproximativ 12000 suprafețe terestre
Masă	$1989 \cdot 10^{27}$ kg	333000 mase terestre
Densitate medie	$1,409$ g $\cdot$ cm^{-3}	circa 1/4 din densitatea medie a Pământului
Accelerația gravitațională la suprafață	274 m $\cdot$ s^{-2}	de circa 28 ori mai mare decât valoarea măsurată la suprafața Pământului
Temperatura la suprafață	5777 K	punctul de fierbere al fierului: 3270 K
Durata medie a perioadei de rotație – siderală – sinodică	 25,4 zile 27,3 zile	aceeași direcție de rotație ca al Pământului și același sens de rotație ca al planetelor
Luminozitate	$384,5 \cdot 10^{24}$ W	din care Pământul primește 0,000 000 05 %
Producția medie de energie	$1,934 \cdot 10^{-3}$ W $\cdot$ kg^{-1}	

Magnitudine – absolută (bolom.) – aparentă	4,74^m – 26,83^m	de 450 000 de ori mai strălucitor decât Luna plină
Clasa spectrală	G2	stele de acelaşi tip: αCentauri A
Câmp magnetic – general – în pete	$5 \cdot 10^{-4}$ T $5 \cdot 10^{-1}$ T	de 10 până la 10 000 ori mai puternic decât câmpul magnetic al Pământului

Radiaţia solară

În interiorul Soarelui, energia este eliberată prin fuziune nucleară (H → He). Aceasta este transportată prin radiaţie şi convecţie la suprafaţa solară şi apoi transmisă în spaţiu sub formă de unde electromagnetice şi particule.

↗ Reacţia proton–proton, p. 125.

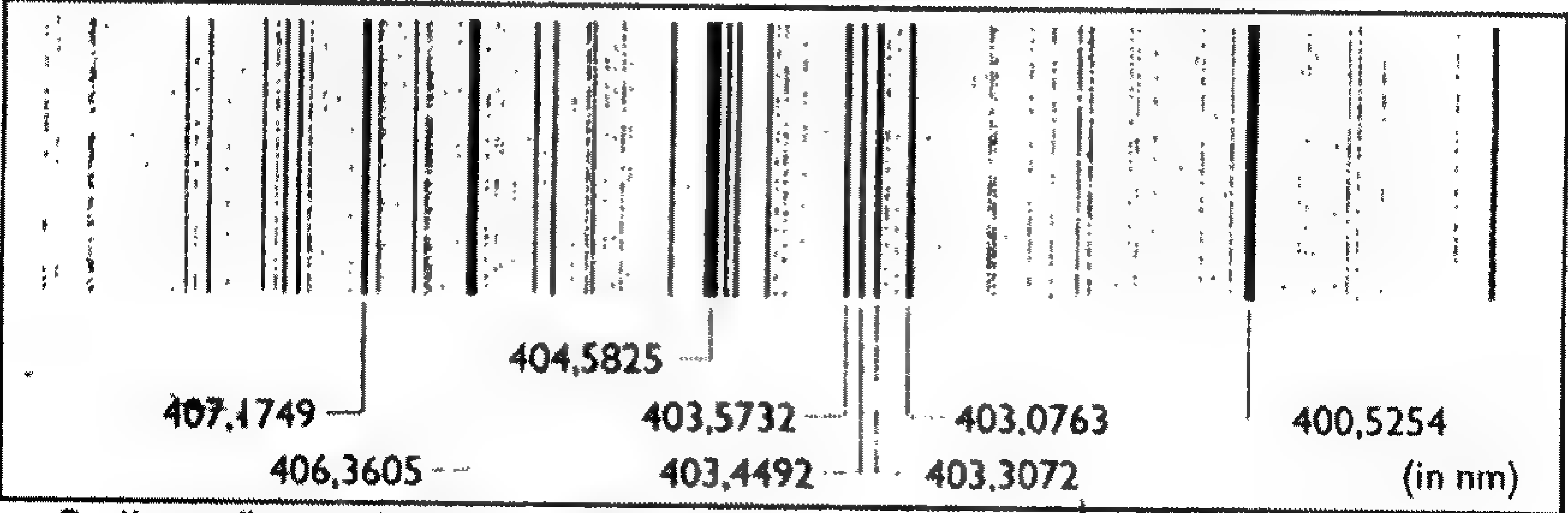
Radiaţia electromagnetică a Soarelui. O parte covârşitoare a radiaţiei solare se regăseşte sub formă de lumină şi căldură. O parte redusă (circa 10%) se regăseşte sub forma radiaţiei radio de undă lungă, respectiv a radiaţiei ultraviolete şi Roentgen de undă scurtă.

↗ Spectrul electromagnetic, p. 7.

■ Ca urmare a echivalenţei dintre energie şi masă, Soarele, prin emisia sa de unde electromagnetice, suferă în fiecare secundă o pierdere de masă de $4{,}3 \cdot 10^6$ t. Dacă radiaţia s-ar menţine constantă, aceasta ar duce, totuşi, în 10 miliarde de ani, la o pierdere de doar 0,07% din masa Soarelui.

↗ Procese de emisie de energie, p. 125, 179.

Spectrul solar. O radiaţie electromagnetică continuă, întreruptă de numeroase linii de absorbţie (linii Fraunhofer) cât şi, în cazul radiaţiei cu lungime scurtă de undă (λ ≤ 120 nm), de linii de emisie. Astăzi sunt cunoscute mai mult de 25000 de linii Fraunhofer şi peste 75% sunt identificate.



Porţiune din spectrul solar cu linii Fraunhofer

Constanta solară. Acea parte a energiei emisă sub formă de radiație electromagnetică de către Soare care, la distanța medie Pământ – Soare, cade perpendicular pe unitatea de suprafață.

Constanta solară: 1,367 $kW \cdot m^{-2}$

Constanta solară este folosită pentru determinarea luminozității și a temperaturii la suprafața Soarelui.

Emisia de particule. Radiație solară compusă, în cea mai mare parte, din electroni și protoni. Acești curenți eliberați constant de Soare în toate direcțiile poartă numele de *vânt solar.*
Datorită înaltei temperaturi din coroana solară, o parte dintre particule capătă o viteză atât de mare, încât înving câmpul gravitațional al Soarelui (viteza de evadare la suprafața solară este de 618 $km \cdot s^{-1}$). În afară de acestea, Soarele emite un curent neîntrerupt de neutrini produși în urma reacțiilor de fuziune nucleară care au loc în interiorul Soarelui.

■ Prin emisia de particule, Soarele pierde în fiecare secundă o masă de $1,2 \cdot 10^6$ t.

↗ Procese de emisie de energie de energie, p. 125, 179.

Emisia de neutrini a Soarelui. Neutrinii sunt particule elementare, neutre din punct de vedere electric, fără masă, sau cu o masă foarte mică. Ei au doar o slabă interacțiune cu materia. Practic, Soarele și Pământul sunt traversate de aceste particule fără a constitui vreun obstacol.

■ Un strat de plumb cu o grosime de 1 an lumină ($9,5 \cdot 10^{12}$ km) ar putea fi traversat fără probleme de 99,9% dintre neutrinii care se îndreaptă spre acesta. În interiorul Soarelui, la formarea fiecărui nucleu de heliu din două nuclee de hidrogen, sunt eliberați doi neutrini.
Cunoscându-se luminozitatea Soarelui, se poate aprecia că la fiecare secundă, fiecare cm^2 de pe Pământ este traversat de 65 miliarde de neutrini. Experimental, nu a putut fi pusă în evidență decât aproximativ o treime din această valoare.
Această problemă se află printre întrebările la care astronomia nu a găsit încă un răspuns complet.

↗ Procese de emisie de energie în stele, p. 125, p. 179.

Structura internă a Soarelui

Elemente	Zona centrală	Celelalte zone
Hidrogen	36%	73%
Heliu	62%	25%
Elemente grele	2%	2%

↗ Spectroscopia, p. 176.

Teoria structurii Soarelui. Soarele se află în echilibru mecanic şi termic.

Echilibrul mecanic		
presiunea gazelor + presiunea radiaţiei	=	presiunea gravitaţiei
orientată spre exterior		↓ orientată spre interior

Echilibru termic
energia eliberată în centru = energia transportată spre exterior

↗ Starea de echilibru a stelelor, p. 124.
↗ Structura internă a stelelor, p. 124, 177.

Mărimi fizice în centrul Soarelui	
Temperatura	$14{,}6 \cdot 10^6$ K
Densitatea	$134\ \mathrm{g \cdot cm^{-3}}$
Presiunea	$22 \cdot 10^{15}$ Pa

Transportul de energie. În interiorul Soarelui, energia emisă prin radiaţie în condiţiile unei continue absorbţii şi emisii, este treptat transportată spre exterior. În straturile superioare (până la 150 000 km adâncime), se adaugă şi convecţia. Acest strat exterior mai este de aceea numit şi *zona de convecţie a hidrogenului.* Radiaţia eliberată în centru este emisă în spaţiu de către atmosfera solară abia după mai mult de 1 milion de ani.

Rotaţia. Soarele nu se roteşte ca un corp rigid. La ecuator, durata de rotaţie siderală este de 25,03 zile (viteza de rotaţie este de 2 $\mathrm{km \cdot s^{-1}}$). În afară de aceasta, straturile superioare se rotesc mai repede decât cele inferioare (rotaţie diferenţiată). Întrucât mişcarea de revoluţie a Pământului în jurul Soarelui şi rotaţia Soarelui au aceeaşi direcţie, perioada de rotaţie sinodică este mai mare decât perioada de rotaţie siderală[1].

[1] Rotaţia siderală – rotaţia cu 360°;
Rotaţia sinodică – rotaţia > 360°, până când Pământul este din nou deasupra aceleaşi părţi din Soare.

Latitudine heliografică	Durata de rotaţie	
	siderală	sinodică
Ecuator (0°)	25,03 zile	26,92 zile
16°	25,38 zile	27,275 zile
30°	26,4 zile	28,3 zile
50°	28,5 zile	30,5 zile
70°	31,2 zile	33,2 zile

Înclinarea ecuatorului. Planul ecuatorului solar este înclinat cu 7,25° față de planul orbitei Pământului (planul eclipticii).

Atmosfera solară

Straturile exterioare ale Soarelui: fotosfera, cromosfera, coroana.

Fotosfera

- Strat al suprafeței solare de pe care este emisă cea mai mare parte a luminii Soarelui.
- Grosime de circa 400 km (< 1/1 000 din diametrul solar).
- Temperatura scade de la interior la exterior de la circa 9 000 K la 4 300 K.
- Întunecare a marginii discului solar, întrucât lumina de la marginea discului provine din straturi mai înalte, deci mai reci.
- Anomalii: pete și facule.
- Structura fină: granulație (cauze: curenți verticali în zonele de convecție a hidrogenului – curenții de gaz fierbinte îndreptați spre exterior apar mai luminoși decât regiunile înconjurătoare).

Cromosfera

- Strat aflat deasupra fotosferei.
- Grosime de circa 10 000 km.
- Temperatura la limita inferioară este de circa 4 300 K, iar la cea superioară de aproximativ 10^6 K.
- Densitatea scade puternic spre exterior.
- Structură floculară, datorată puternicei turbulențe.
- Anomalii: facule, erupții, protuberanțe.
- Vizibilă pe fotosfera pe care o acoperă.

Coroana

- Stratul exterior, care se pierde treptat în spațiul interplanetar.
- Densitate extrem de redusă.
- Temperatură ridicată (circa 10^6 K).
- Își modifică forma și structura în funcție de activitatea solară.
- Vizibilă doar atunci când discul luminos al Soarelui este acoperit (de exemplu, în timpul unei eclipse totale de Soare).

↗Coronograful, p. 16.

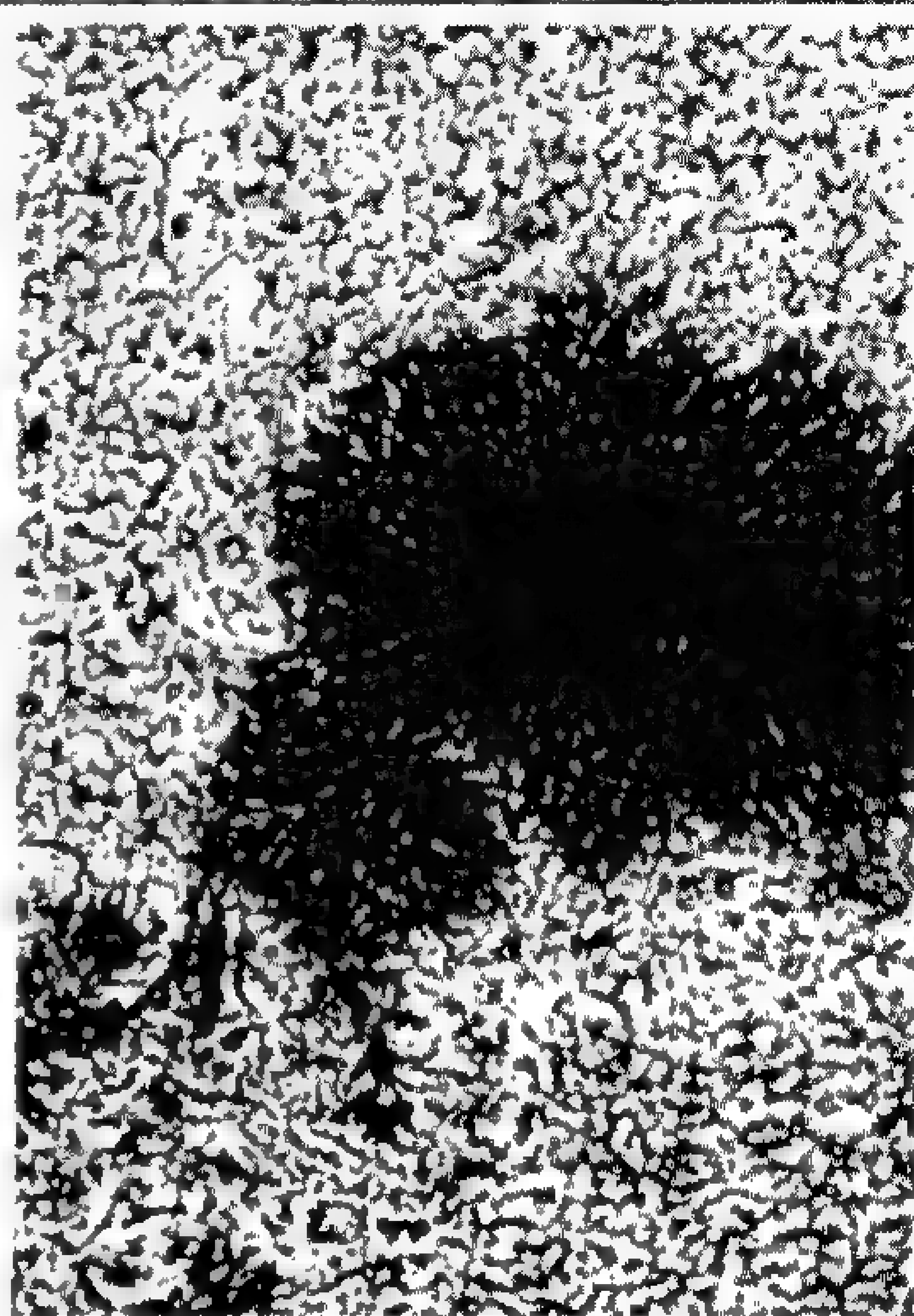
Activitatea solară

Totalitatea modificărilor periodice care au loc pe Soare, în special pete, facule, erupții, protuberanțe.

Fenomenele care însoțesc activitatea solară au similitudini spațiale și temporale, care dovedesc aceleași cauze (concentrații ale câmpului magnetic).

Petele solare

- Domenii de anomalie din fotosferă, sub forma unor pete întunecate solitare sau grupate, care apar la latitudini heliografice reduse.
- Temperaturi cu 1 000 K până la 2 500 K mai scăzute decât în restul fotosferei.
- Diametrul lor poate depăși 200 000 km (de 16 ori diametrul terestru).
- Marile pete au un nucleu întunecat (umbra) și o regiune înconjurătoare mai luminoasă (penumbra), care au o structură radială. Fenomenul dovedește o puternică emisie radială.
- Legături cu puternice câmpuri magnetice, care depășesc de circa 1000 de ori câmpul magnetic al Soarelui.
- În general, s-a observat o periodicitate de 11 ani la apariția petelor solare (ciclul petelor solare). Dacă se ia în considerație direcția câmpului magnetic, se obține o perioadă de 22 de ani.
- Petele solare au o durată de viață cuprinse între câteva ore (petele mici) și câteva luni (mai multe rotații solare).



Faculele

- Anomalii în fotosferă și în cromosfera inferioară care sunt cu circa 1000 K mai fierbinți decât regiunile înconjurătoare.
- Faculele apar în general în jurul petelor. Durata medie de viață a lor este mai mare decât cea a petelor.



Erupțiile

- Apariții luminoase de scurtă durată, extrem de rapide, în domenii limitate ale fotosferei și cromosferei.
- Marile erupții eliberează o energie de până la 10^{20} kWh, în timpul erupției crescând intensitatea emisiei radio, ultravioletă și Roentgen a Soarelui.
- Durata de viață este între câteva minute și câteva ore. Apar în special în apropierea marilor grupuri de pete solare.



Protuberanțele

- Nori de gaz de diferite mărimi și forme care se ridică din cromosferă în coroană.
- Mărimi medii: grosime circa 10 000 km, lungimea arcului circa 200 000 km, înălțime circa 50 000 km.
- Temperaturi de la 10 000 K până la 20 000 K.
- Durata de viață – până la câteva rotații solare.
- Protuberanțele se pot înălța cu mare viteză peste marginea discului solar, până la 10^6 km, căzând după aceea înapoi sau trecând sub forma unui nor de particule în coroană sau în spațiul interplanetar.
- Apar, în majoritatea cazurilor, împreună cu faculele și petele, având aceeași perioadă de reapariție, de 11 ani.
- Vizibile pe marginea discului solar (vezi imaginile de mai jos) în timpul eclipselor totale de Soare, respectiv cu lunete speciale.





Imagini luate la un interval de 15 minute

Relații între Soare și Pământ

Fenomene care apar pe Pământ sau în atmosfera terestră și care sunt cauzate de emisia de particule a Soarelui (vântul solar).

Fenomene și acțiuni	Modificări ale stării și comportării electrice ale ionosferei, influențări ale câmpului magnetic al Pământului (furtuni magnetice), fenomene luminoase în straturile înalte ale atmosferei , la altitudini polare (aurore polare), puternici curenți electrici în conducte.
Presupuse influențe meteorologice și biologice[1]	Frecvența furtunilor, fenomene meteorologice, creșterea anuală a arborilor, mărimea recoltelor, frecvența infarcturilor.

[1] Influențele presupuse sunt controversate, întrucât este greu ca din multitudinea de factori care au o influență asupra acestor fenomene să fie izolată influența unui singur factor (în cazul nostru, emisia de particule a Soarelui și influența sa electrică și magnetică).

IDENTIFICAREA STELELOR

Cum sunt identificate stelele	■ Steaua din stânga constelației Orion
Prin coordonate stelare	Ascensia dreaptă: α = 5h 55min 10,3s Declinația: δ = +7°24′ 25,35″
Printr-un nume într-un catalog stelar	Număr în catalogul Henry – Draper HD 39801
Printr-o literă mică grecească sau latină, în legătură cu numele constelației (pentru stelele mai strălucitoare decât mărimea 4)	α Orionis = α Ori (steaua α din constelația Orion)
Printr-un nume propriu (pentru stelele cele mai luminoase și mai vizibile)	Betelgeuse

Numele câtorva stele

[illegible]	Forma completă	Forma prescurtată	[illegible]			[illegible]
Algol	Beta Persei	β Per	3	8	11	+40,95°
Arcturus	Alpha Bootis	α Boo	14	15	40	+19,18°
Deneb	Alpha Cygni	α Cyg	20	41	26	+45,27°
Castor	Alpha Gemini	α Gem	7	34	36	+31,88°
Mira	Omicron Ceti	o Cet	2	19	21	−2,98°
Mizar	Zeta Ursae Maioris	ξ UMa	13	23	56	+54,33°
Steaua polară	Alpha Ursae Minoris	α UMi	1	31	51	+89,25°
Pollux	Beta Gemini	β Gem	7	45	19	+28,02°
Regulus	Alpha Leonis	α Leo	10	8	22	+11,97°

MAGNITUDINEA ŞI DEPĂRTAREA STELELOR

Magnitudinea

Măsura pentru radiaţia primită de la un corp ceresc. Unitatea: clasa de mărime (^{m}).
Conform definiţiei, unei diferenţe de magnitudine de o clasă de mărime ($m_1 - m_2$) îi corespunde un raport al intensităţilor radiaţiei de $10^{0,4} : 1 = 2,512$.

$2^m - 1^m = 1$ mag	Diferenţele de magnitudine sunt măsurate în mag (din latină, magnitudo = mărime)

Unei diferenţe de magnitudine de 2,5 mag îi corespunde un raport al intensităţilor radiaţiei de $10^{0.4 \cdot 2.5} : 1 = 10 : 1$.
Regulă: Valorile mici ale cifrelor clasei de mărime corespund unei magnitudini mari şi invers.

■ Atair are o magnitudine aparentă $m = 0{,}77^m$; Vega are magnitudinea $m = 0{,}03^m$. Vega este cu 0,74 mag mai strălucitoare decât Atair.
Trebuie făcută diferenţa dintre magnitudinea aparentă şi cea absolută.

Magnitudinea aparentă. Este magnitudinea observată. Ea este dependentă în special de cantitatea de energie iradiată pe unitatea de timp şi de depărtarea respectivului corp ceresc faţă de Pământ. Magnitudinea aparentă se notează cu *m*.

Magnitudinea absolută. Dacă toate stelele ar fi plasate la aceeaşi depărtare faţă de Pământ, magnitudinea lor ar fi o măsură directă pentru cantitatea de energie iradiată pe unitatea de timp. Magnitudinea pe care ar avea-o o stea aflată la distanţa de 10 pc, poartă numele de magnitudine absolută şi se notează cu *M*.

↗ Determinarea distanţei, p. 109. ↗ Unităţi de distanţă, p. 111.

Stele strălucitoare pe firmamentul nostru (selecţie)

Nume	Magnitudine	
	aparentă	absolută
Soare	$-26{,}83^m$	$+4{,}74^m$
Sirius	$-1{,}46^m$	$+1{,}5^m$
Arcturus	$-0{,}04^m$	$+0{,}2^m$
Vega	$+0{,}03^m$	$+0{,}6^m$
Capella	$+0{,}08^m$	$-0{,}5^m$
Rigel	$+0{,}12^m$	$-6{,}5^m$
Procyon	$+0{,}38^m$	$+2{,}6^m$
Atair	$+0{,}77^m$	$+2{,}39^m$
Aldebaran	$+0{,}85^m$	$-0{,}6^m$
Spica	$+0{,}97^m$	$-6{,}7^m$

Modulul de distanţă. Diferenţa dintre magnitudinea aparentă şi cea absolută. Măsură pentru distanţa la care se află steaua. Cu cât este mai mare $m - M$, cu atât steaua este mai îndepărtată.

- Modulul de distanță al stelei:
  – Sirius: $(-1{,}46^m) - (+1{,}5^m) = -2{,}96$ mag;
  – Rigel: $(+0{,}12^m) - (-6{,}5^m) = +6{,}62$ mag;
  Rigel este mult mai îndepărtată decât Sirius.
  ↗ Determinarea fotometrică a distanței, p. 110.

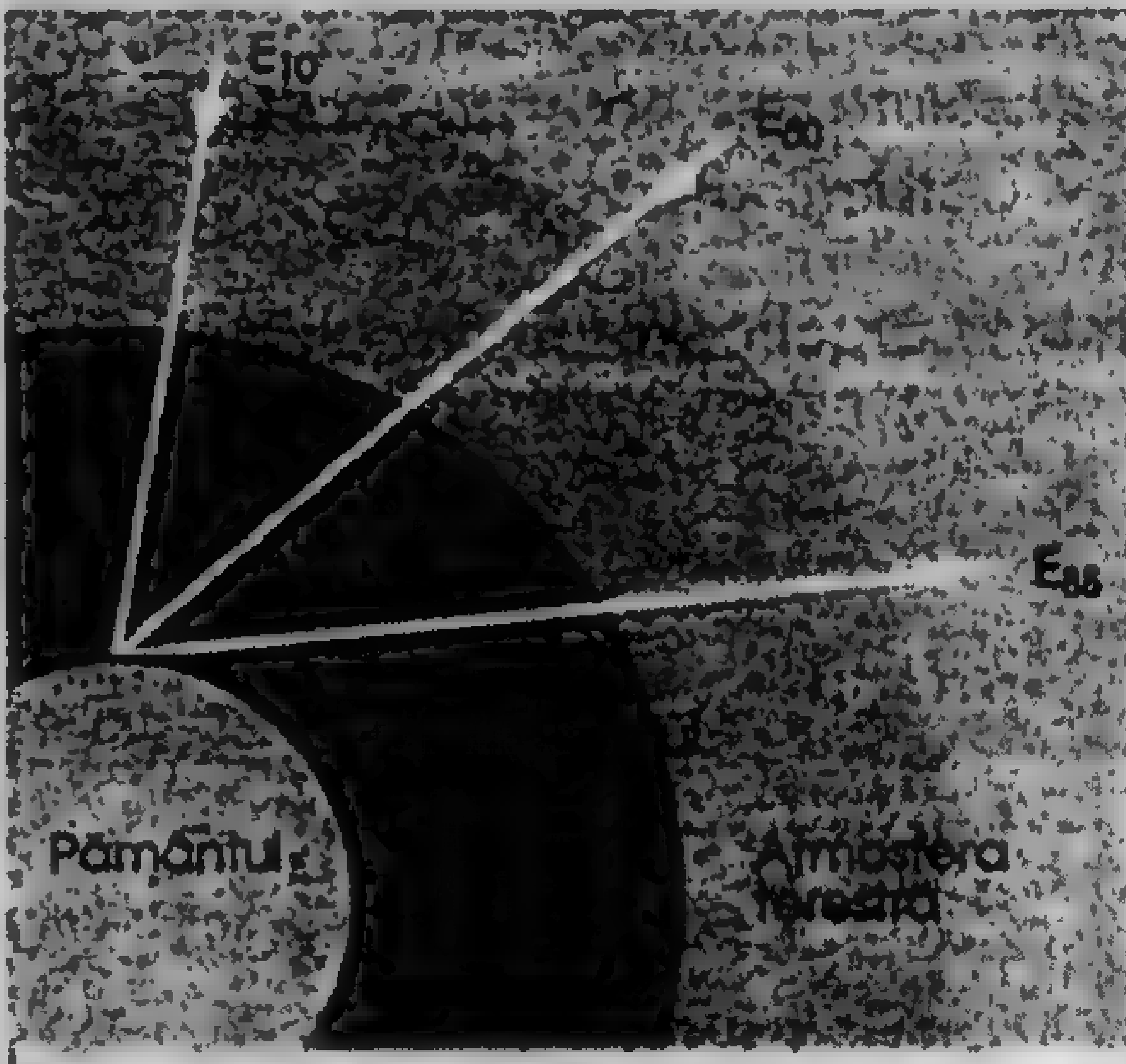
Magnitudinea fotometrică. Stelele au o radiație diferită în domeniile spectrale. De aceea, pentru una și aceeași stea se obțin magnitudini diferite, în funcție de domeniul spectral în care s-a făcut măsurătoarea.

Magnitudine vizibilă	m_{viz}	Observare cu ochiul liber
Magnitudine fotografică	m_f	Observare fotografică
Magnitudine fotovizuală	m_{fv}	Observare fotografică cu filtru galben
Magnitudine ultravioletă, albastră, vizuală	m_u, m_a, m_v	Măsurare în porțiuni restrânse în domeniul ultraviolet (350 nm), albastru (435 nm) și vizual (555 nm) al spectrului
Magnitudine bolometrică	m_{bol}	Măsurare în întregul domeniu spectral

↗ Legile radiației, p. 114.
↗ Indice cromatic, p. 129; ↗ Apariția astrofizicii, p. 176.

Extincția. Slăbire și/sau schimbare a culorii și dispersiei luminii unei stele în urma traversării norilor interstelari și a atmosferei terestre. Prin trecerea luminii prin gaze, radiația din domeniile înguste ale spectrului este absorbită. În spectru apar linii de absorbție întunecate, caracteristice pentru fiecare element sau moleculă absorbantă. Pe acest fenomen se bazează analiza spectrală. La trecerea prin atmosfera terestră, slăbirea luminii stelare este cu atât mai accentuată cu cât lumina cade mai oblic.

↗ Spectrul solar, p. 100
↗ Clasa spectrală, p. 120.
↗ Materia interstelară, p. 9, 144.
↗ Analiza spectrală, p. 123, 176.



B - Punctul de observare
E - Radiația incidentă sub unghiuri de 10°, 50°, 85°

Drumul luminii prin atmosferă este cu atât mai lung cu cât lumina cade mai oblic. Astfel crește și extincția atmosferică.

[redacted]

Distanța zenitală a radiației	Slăbire	Distanța zenitală a radiației	Slăbire
0°	0,00 mag	50°	0,12 mag
10°	0,00 mag	60°	0,23 mag
20°	0,01 mag	70°	0,45 mag
30°	0,03 mag	80°	0,99 mag
40°	0,06 mag	85°	1,77 mag

În afară de aceasta, extincția este cromatic dependentă: lumina albastră suferă o atenuare mai puternică, lumina roșie una mai puțin puternică.

- Înroșirea stelelor în apropierea liniei orizontului

Determinarea distanței

Cunoștințele despre depărtarea stelelor și a sistemelor stelare sunt de o importanță fundamentală pentru multe domenii din astronomie. Distanța până la stele poate fi calculată trigonometric, fotometric sau prin măsurarea deplasării spre roșu. Aceste metode sunt folosite pentru obiecte îndepărtate sau pentru anumite grupe de corpuri cerești. Pentru obiecte din Sistemul Solar apropiate de Pământ este folosită măsurarea timpului de propagare al semnalelor.

Ecometode. Viteza de propagare a luminii fiind cunoscută, timpul de propagare al impulsurilor radar sau laser poate fi folosit pentru determinarea distanței la care se află corpurile cerești cele mai apropiate de Pământ (Lună, Venus, Marte, Mercur, anumiți planetoizi). Întrucât viteza de propagare a undelor electromagnetice este constanta naturală cea mai bine cunoscută, determinarea distanței se poate face cu o foarte mare exactitate (Luna, ± 3 cm). Conform legii a treia a lui Kepler, poate fi determinată și distanța Pământ - Soare (unitate astronomică) și distanțele la care se găsesc celelalte planete față de Pământ.

	Valoarea exactă	Valoarea uzuală
Viteza luminii	(299 792,458 ± 0,0012) km · s^{-1}	300 000 km · s^{-1}
Unitate astronomică	149,597870 · 10^6 km	149,6 · 10^6 km

↗ Unități de distanță, p. 111.

Determinarea trigonometrică a distanței

Determinare a depărtării stelelor prin măsurări unghiulare, luându-se ca bază diametrul orbitei terestre (2 UA; ≈300 000 000 km). Este măsurată deplasarea aparentă a stelei observate față de stele care (se admite) sunt mult mai importante decât steaua cercetată. Unghiul sub care este văzută raza orbitei terestre dinspre stea poartă numele de paralaxă (*p*). Paralaxele tuturor stelelor sunt mai mici decât o secundă de arc.

Determinarea distanțelor prin calcularea paralaxelor trigonometrice este aplicabilă la stelele a căror distanță față de Pământ este mai mică decât 100 pc ($p \geq 0{,}001''$).

S – punctul în care se află Soarele

E_1, E_2 – puncte în care se află Pământul la diferență de jumătate de an

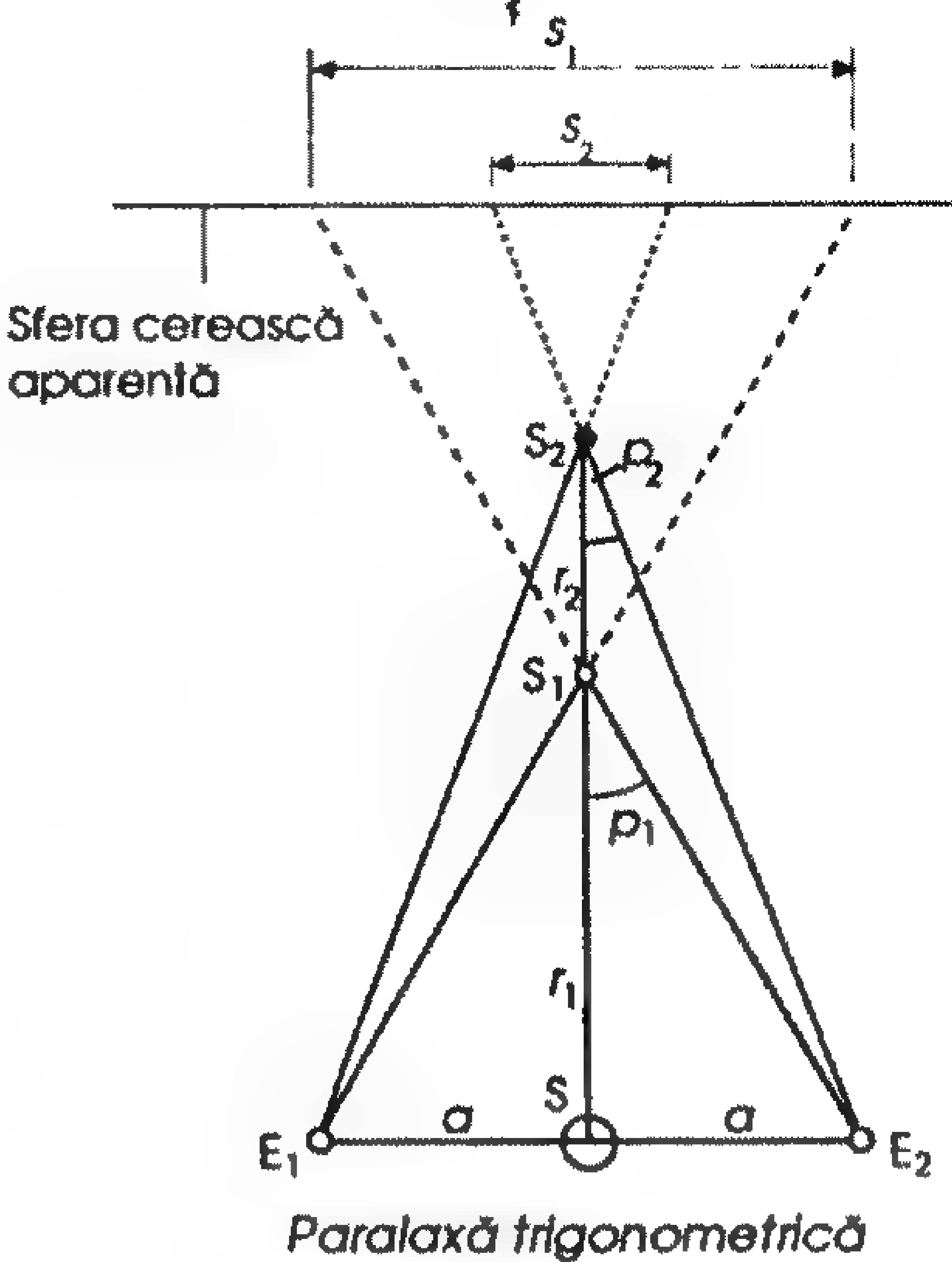
a – semiaxa mare a orbitei terestre (=1 UA)

S_1, S_2 – puncte în care se află stelele

r_1, r_2 – distanțele la care se află stelele S_1 și S_2

p_1, p_2 – paralaxele stelelor S_1 și S_2

s_1, s_2 – proiecții ale orbitei Pământului prin deplasarea stelelor S_1 și S_2 pe bolta cerească



Paralaxă trigonometrică

Între paralaxa p și distanța r există relația:

$r = \dfrac{1}{p}$	r în parseci p în secunde de arc

Steaua	Paralaxa	Distanța
Proxima Cen	0,772''	1,295 pc
α Cen	0,750''	1,333 pc
Sirius (α CMa)	0,377''	2,653 pc
Atair (α Aql)	0,202''	4,95 pc
Vega (α Lyr)	0,133''	7,52 pc
Arcturus (α Boo)	0,097''	10,30 pc

↗ Unități de distanță, p. 111.
↗ Primele măsurări ale paralaxelor stelelor fixe, p. 175.

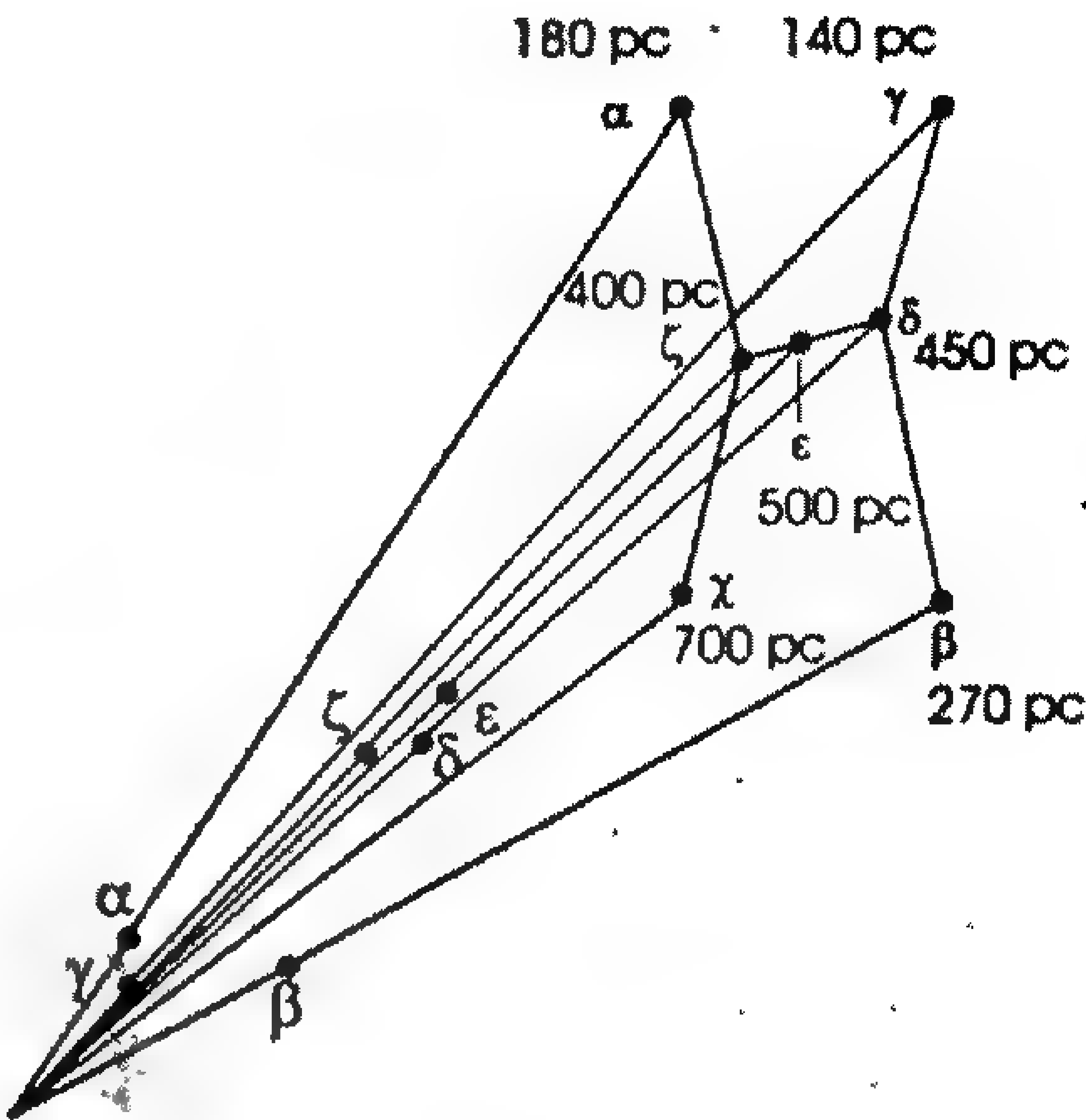
Determinarea fotometrică a distanței

Între magnitudinea aparentă m, magnitudinea absolută M și depărtarea r (în pc) a stelei există relația:

$$m - M = 5 \cdot \lg r - 5$$

Dacă se reușește determinarea magnitudinii absolute (sau a strălucirii sale echivalente), de exemplu prin cercetarea spectrului astral sau prin aflarea diametrului stelei și a temperaturii înregistrate la suprafață, se poate calcula depărtarea *r*.

↗ Unități de distanță, p. 111.



Modelul spațial al constelației Orion

Metoda Cefeidelor

Datorită relației existente între perioada de schimb a luminii și magnitudinea absolută (respectiv strălucirea) stelelor Delta–Cephei, se poate calcula, prin mărimi măsurabile, magnitudinea aparentă și perioada modulului de distanță și, prin aceasta, distanța.

Stelele Delta–Cephei aflându-se într-un roi de stele, se poate determina și depărtarea celorlalte stele ale roiului. Întrucât stelele Delta – Cephei au o puternică strălucire, ele pot fi observate și în alte sisteme stelare și permit determinarea distanței la care se află aceste sisteme.

↗ Modulul de distanță, p. 107; ↗ Determinarea fotometrică a distanței, p. 110;
↗ Relația perioadă – magnitudine, p. 132; ↗ Variația p. 130.

Metoda deplasării spre roșu. Distanța la care se află galaxiile foarte îndepărtate poate fi determinată din deplasarea spre roșu din spectrele lor.

↗ Constanta Hubble, p. 158, 181; ↗ Distanța sistemelor stelare, p. 152.
↗ Descoperirea expansiunii Universului, p. 180.

Accesibilitatea diferitelor metode de determinare a distanței

Metodă	Accesibilitate
Ecometode	Sistemul solar intern
Metode trigonometrice	1000 pc
Metode fotometrice	Sistemul Căii Lactee Stelele luminoase din galaxiile învecinate
Metoda Cefeidelor	$20 \cdot 10^6$ pc
Metoda deplasării spre roșu	Mai mult de 10^9 pc

Unități de distanță

În astronomie se folosesc următoarele unități: unitatea astronomică, parsecul și anul-lumină.

Unitatea astronomică (UA). Distanța medie dintre Pământ și Soare; unitate fundamentală în astronomie.
1 UA = 149, 598 · 10^6 km

Parsecul (pc). Depărtarea de la care distanța medie Pământ – Soare (1 UA) apare sub un unghi de o secundă de arc.
Multipli ai parsecului: 1 kpc = 1 000 pc
1 Mpc = 1 000 000 pc

Anul - lumină (a.l.). Distanța străbătută de lumină în timpul unui an (viteza luminii 300 000 km · s^{-1}).

[illegible]	[illegible]	[illegible]	pc	a.l.
[illegible]	149,598 · 10^6	1	4,8481 · 10^{-6}	15,8129 · 10^{-6}
[illegible]	30,857 · 10^{12}	206 266	1	3,2617
[illegible]	9,4605 · 10^{12}	63 239	0,3066	1

Depărtarea celor mai strălucitoare stele

[illegible]	[illegible]	Depărtarea în pc
Sirius	8,8	2,7
Vega	26	7,5
Pollux	36	11
Castor	46	14
Capella	46	14
Aldebaran	68	21
Regulus	85	26
Algol	101	31
Mira	130	40
Spica	274	84
Betelgeuse	587	180
Steaua Polară	652	200
Rigel	880	270
Deneb	1630	500

MĂRIMI DE STARE ALE STELELOR

Mărimile de stare

Mărimi observate sau deduse din observații care, în totalitatea lor, descriu starea fizică a unei stele. Mărimile de stare sunt:

- Strălucirea (≈ magnitudinea absolută);
- Temperatura;
- Diametrul;
- Masa;
- Densitatea medie;
- Producția medie de energie;
- Clasa spectrală;
- Accelerația gravitațională;
- Câmpul magnetic;
- Rotația;
- Compoziția chimică.

Strălucirea

Cantitatea totală de energie iradiată de o stea. O mărime absolută echivalentă cu magnitudinea absolută, notată cu *L*.
Strălucirea și magnitudinea absolută sunt mărimi echivalente în diferite unități de măsură (wați, respectiv clase de mărime).

Formule de transformare

$M_{bol} = 4{,}7 - 2{,}5 \cdot \log L$ $L = 10^{1{,}88 - 0{,}4 \cdot M_{bol}}$	*L* în străluciri solare

Strălucirea poate fi determinată:
- din magnitudinea absolută *m* și distanța *r* (cu transformarea din magnitudinea absolută *M*);
- din intensitatea anumitor linii de absorbție ale spectrului;
- din temperatura înregistrată la suprafață *T* și diametrul *D*.

Strălucirea stelelor apare într-un domeniu foarte larg; ea poate fi cuprinsă între 10^{-4} și 10^{5} străluciri solare.

↗Legea radiației, p. 114; ↗ Magnitudinea, p. 107.
↗ Clasa spectrală, p. 120; ↗ Temperatura, p. 113.
↗ Determinarea distanței, p. 109.
↗ Diagrama Hertzsprung–Russell, p. 127.

Temperatura

Temperatura (*T*) la suprafața celor mai multe dintre stele este cuprinsă între 2 500 K și 50 000 K.
Temperatura stelelor se determină în principal prin determinarea cantității de energie radiată sau prin măsurarea intensității de radiație într-un interval de lungimi de undă.

Determinarea temperaturii stelelor prin determinarea cantității de energie radiată:
Din legea Stefan–Boltzmann rezultă

[redacted]	*T* – temperatura *L* – strălucirea *D* – diametrul

Temperatura determinată în acest mod poartă numele de *temperatură efectivă*. Ea poate fi calculată pentru stelele pentru care sunt cunoscute strălucirea și diametrul.

↗ Legile radiației, p. 114.
↗ Temperatura, p. 113.

Dacă în locul energiei de radiație, din întregul spectru se cercetează doar energia unui anumit interval de lungimi de undă, atunci se obține *temperatura de radiație*.

Determinarea temperaturii stelelor prin măsurarea intensității de radiație într-un interval de lungimi de undă:
Compararea intensității de radiație a unei stele cu cea a unui corp negru într-un anumit interval de lungimi de undă duce la obținerea *temperaturii de culoare.*

Tipul de temperatură cercetată	Valoarea
Temperatura efectivă	5 777 K
Temperatura de radiație	
• domeniul vizual	6 050 K
• domeniul fotografic	5 895 K
Temperatura de culoare	
• 300 nm până la 400 nm	4 850 K
• 410 nm până la 950 nm	7 140 K

Clasa spectrală	Temperatura efectivă
M3	2 900 K
K5	4 700 K
G2	5 800 K
F2	7 300 K
A2	10 900 K
B3	21 800 K
B0	32 500 K
O5	41 000 K

↗ Diagrama Hertzsprung - Russell, p. 127.

Legile radiației

Legea corpului radiant negru. Radiația emisă de un corp este cu atât mai mare, cu cât acesta poate absorbi mai multă radiație. Un corp radiant negru absoarbe complet orice radiație electromagnetică apărută.
Stele sunt, în interiorul lor, corpuri radiante negre. În domeniile exterioare, din contră, energia emisă este diminuată, cu diferite intensități, în diferite lungimi de undă (corp cu radiație selectivă).

Legea radiației a lui Planck

Densitatea de energie a unei radiații electromagnetice depinde de lungimea de undă și de temperatură.
În fiecare porțiune a spectrului, aceasta este cu atât mai mare, cu cât este mai mare temperatura corpului radiant.

Fiecărei temperaturi îi corespunde o curbă Planck, ce nu se intersectează în nici un domeniu cu nici o altă curbă de același tip (fig. p. 115).

Constanta lui Planck. Constanta *h*, care apare în formularea matematică a legii radiației lui Planck, este o mărime universală:

$$h = 6{,}6260755 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$$

Legea deplasării a lui Wien

Maximumul intensităţii de radiaţie se deplasează odată cu creşterea temperaturii spre lungimi de undă din ce în ce mai mici.	$\lambda_{max} \sim \frac{1}{T}$ $\lambda_{max} \cdot T = const = a$

λ_{max} – lungimea de undă a maximului de radiaţie
T – temperatura
a = $2{,}898 \cdot 10^{-3}$ m · K

Temperatura (în K)	λ_{max} (în nm)	Domeniul spectral al λ_{max}
1 000	2 900	infraroşu
4 000	720	roşu
7 000	412	violet
10 000	290	ultraviolet
1 000 000	2,9	radiaţie Roentgen

Legea Stefan – Boltzmann

Energia de radiaţie totală a unui corp creşte proporţional cu valoarea temperaturii la puterea a patra	$W_{tot} \sim O \cdot T^4$ $W_{tot} = \sigma \cdot O \cdot T^4$ $\sigma = 5{,}67051 \cdot 10^{-8} \cdot W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

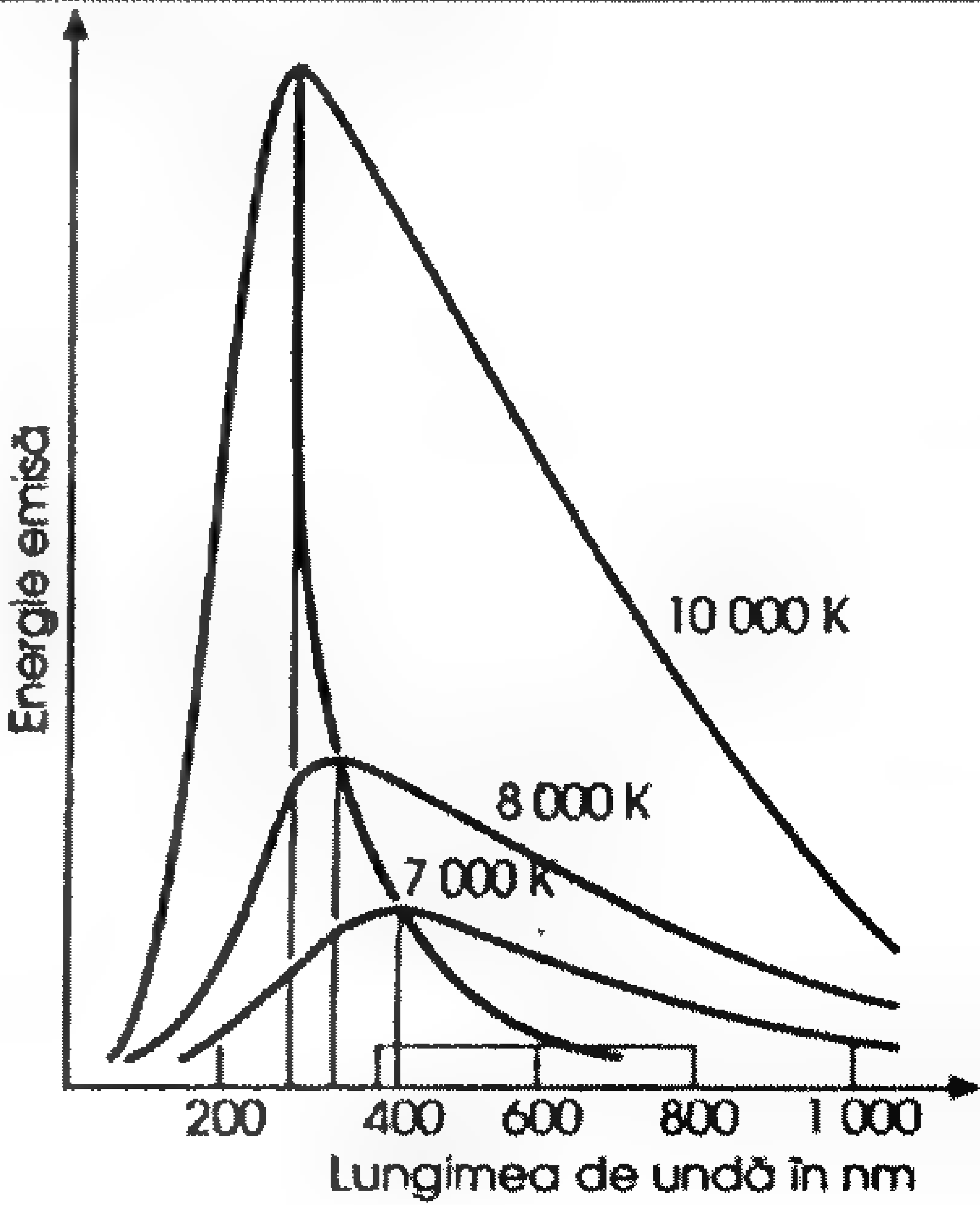
W_{tot} – energia de radiaţie totală
T – temperatura
O – suprafaţa
σ – constanta Stefan – Boltzmann

Datorită faptului că $S = \frac{W_{tot}}{O}$,

legea este scrisă adesea sub forma:

$S = \sigma \cdot T^4$, unde S este fluxul de radiaţie.

Suprafaţa delimitată de curbele lui Planck dă energia de radiaţie totală.



Legea Stefan - Boltzmann şi legea deplasării a lui Wien

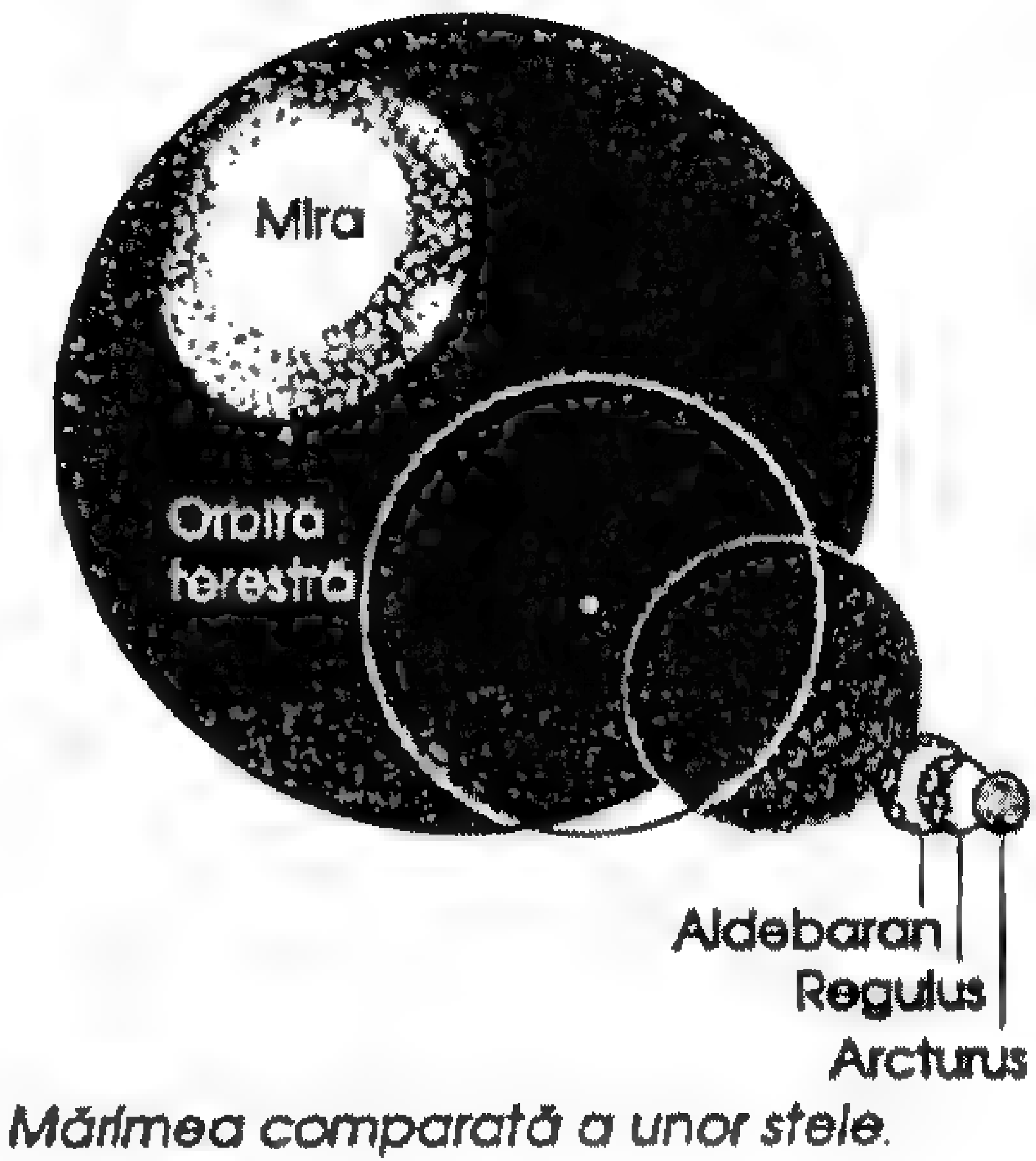
Diametrul

Diametrul stelelor este cuprins între 0,00001 şi 1000 diametre solare. Diametrul stelelor poate fi determinat prin metoda interferometrică, prin observarea variaţiei acoperirii sau cu ajutorul legii Stefan-Boltzmann.

↗ Legile radiaţiei, p. 114; ↗ Variabile, stele variabile, p. 130.

Determinarea interferometrică a diametrului stelelor

Cu ajutorul metodelor de observare interferometrică poate fi calculat diametrul stelelor apropiate. Radiaţia poate fi observată prin două fante sau poate fi captată cu doi receptori diferiţi, fantele, respectiv receptorii aflându-se la distanţe variabile unele de altele. Prin fenomenele de interferenţă ce apar la modificarea distanţei dintre fante, respectiv receptori, poate fi măsurat diametrul unghiular al surselor de radiaţii.



Mărimea comparată a unor stele.

Interferometria Speckle. Metodă modernă de observaţie interferometrică a stelelor al cărei scop este de a măsura diametrul şi structurile de suprafaţă ale stelelor şi de a despărţi optic stelele duble spectrale. Pentru aceasta, drumul luminii prin telescop, până la locul de observare, trebuie să concorde până la micron. „Trucul" interferometriei Speckle constă în faptul că se execută foarte multe înregistrări ale obiectului, de fiecare dată expunerea făcându-se pentru doar aproximativ 1/100 s (pentru evitarea „lipirii" atmosferice). Fiecare dintre cele 100... 1000 de înregistrări constituie o imagine pătată, spălăcită (speckle, engl. = pată). Suprapunerea lor prin mijloace moderne are ca rezultat o imagine clară, detaliată.

↗ Dezvoltarea tehnicilor de observaţie, p. 177.

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] în diametre solare
[illegible]	180 pc 50 pc 11 pc 26 pc 8 pc 2,7 pc	0,034 0,056 0,022 0,00138 0,0038 0,0068	730 390 28 3,8 2,9 2

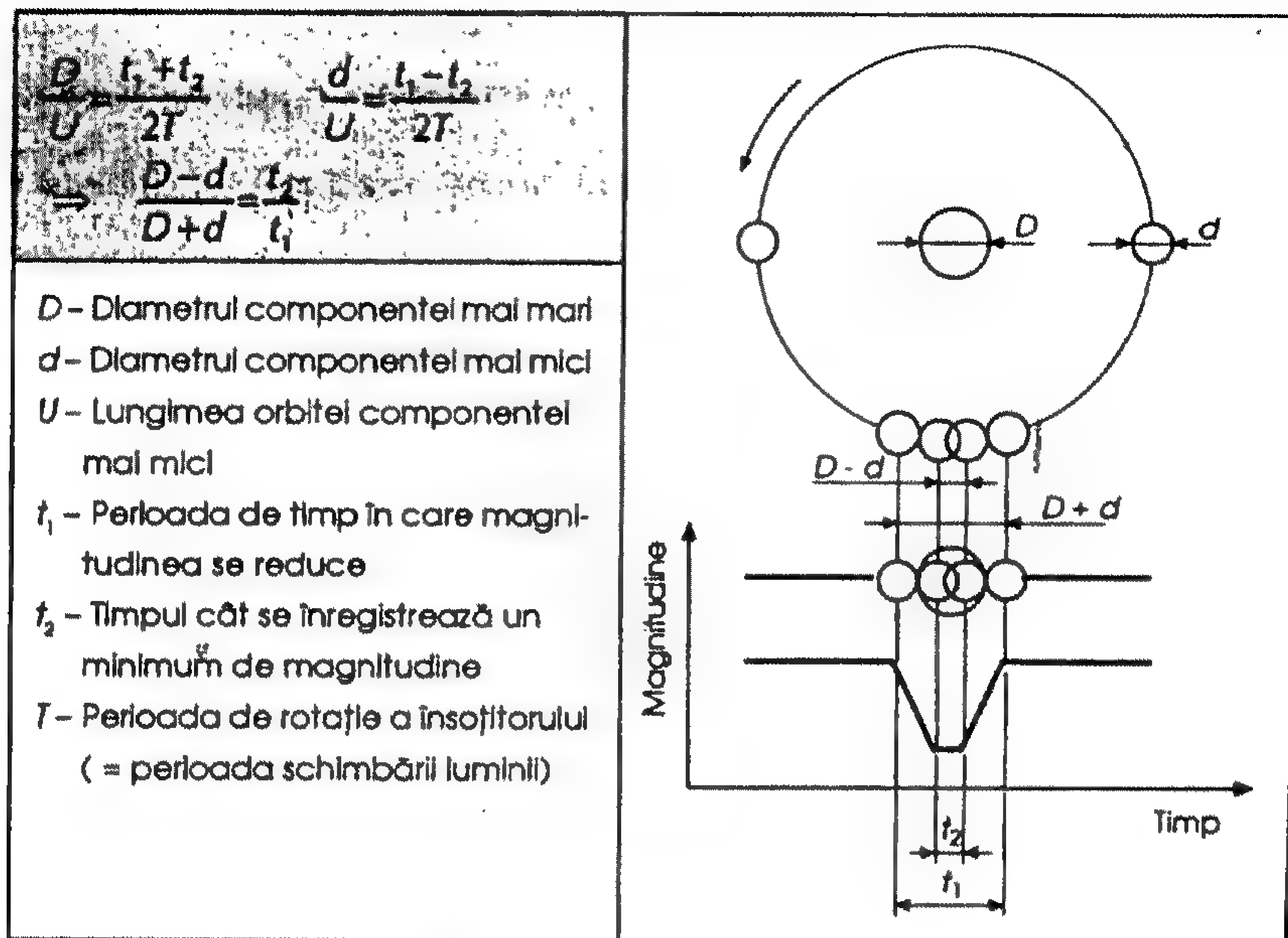
Determinarea diametrului stelelor prin observarea variației acoperirii

La variația acoperirii, diametrul poate fi aflat cu ajutorul curbei luminii.

↗ Variabile, stele variabile, p. 130.

↗ Stelele duble, p. 130.

Studierea curbei luminii arată legătura existentă între diametrele celor două componente ale unei stele duble în raport cu lungimea orbitei însoțitorului.



D și *d* pot fi date în măsuri lineare, în timp ce viteza orbitală medie a însoțitorului poate fi aflată din deplasarea liniilor spectrale (fapt realizat la circa 100 de stele de acoperire).

Determinarea diametrului stelelor cu ajutorul legii Stefan – Boltzmann

$D \sim \frac{\sqrt{L}}{T^2}$	*D* – diametrul stelei *L* – strălucirea *T* – temperatura

Pe această cale, diametrul (*D*) poate fi aflat la toate stelele la care strălucirea (*L*) și temperatura măsurată la suprafață (*T*) pot fi determinate independent de diametru.

↗ Legile radiației, p. 114.

Diametrul stelelor poate fi cuprins între 10^{-5} şi 10^{3} diametre solare.

Tipul de stea	Diametrul în diametre solare
Stele neutronice	10^{-5}
Pitice albe	10^{-2}
Stelele seriei principale	10^{-1}... 10
Stele gigantice	10 ... 10^{2}
Stele supragigantice	10^{2} ... 10^{3}

Masa

Masa stelelor este cuprinsă într-un domeniu relativ îngust, de circa 0,05 până la 100 de mase solare.

Masa stelelor poate fi determinată prin observarea stelelor duble şi din relaţia masă–strălucire.

Determinarea masei la stelele duble

Componentele unei stele duble se mişcă, în baza legilor lui Kepler, în jurul unui centru de greutate comun. Cu ajutorul mişcărilor orbitale, conform legii a 3-a a lui Kepler, poate fi calculată suma maselor m_1 şi m_2:

$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{T^2}$	T – perioada de revoluţie (în ani) a – semiaxa mare a orbitei însoţitorului, în raport cu steaua principală (în UA) $m_1; m_2$ – masele stelelor componente ale sistemului stelei duble (în mase solare)

Când pot fi identificate valorile semiaxelor mari a_1 şi a_2 ale ambelor orbite, în funcţie de centrul de greutate al sistemului, raportul celor două mase devine:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}.$$

Din ecuaţiile pentru $(m_1 + m_2)$ şi m_1/m_2 se pot afla masele celor două componente.

În acest mod au fost calculate mase în circa 40 de sisteme de stele duble.

↗ Legile lui Kepler, p. 54, 173.
↗ Stelele duble, p. 130.

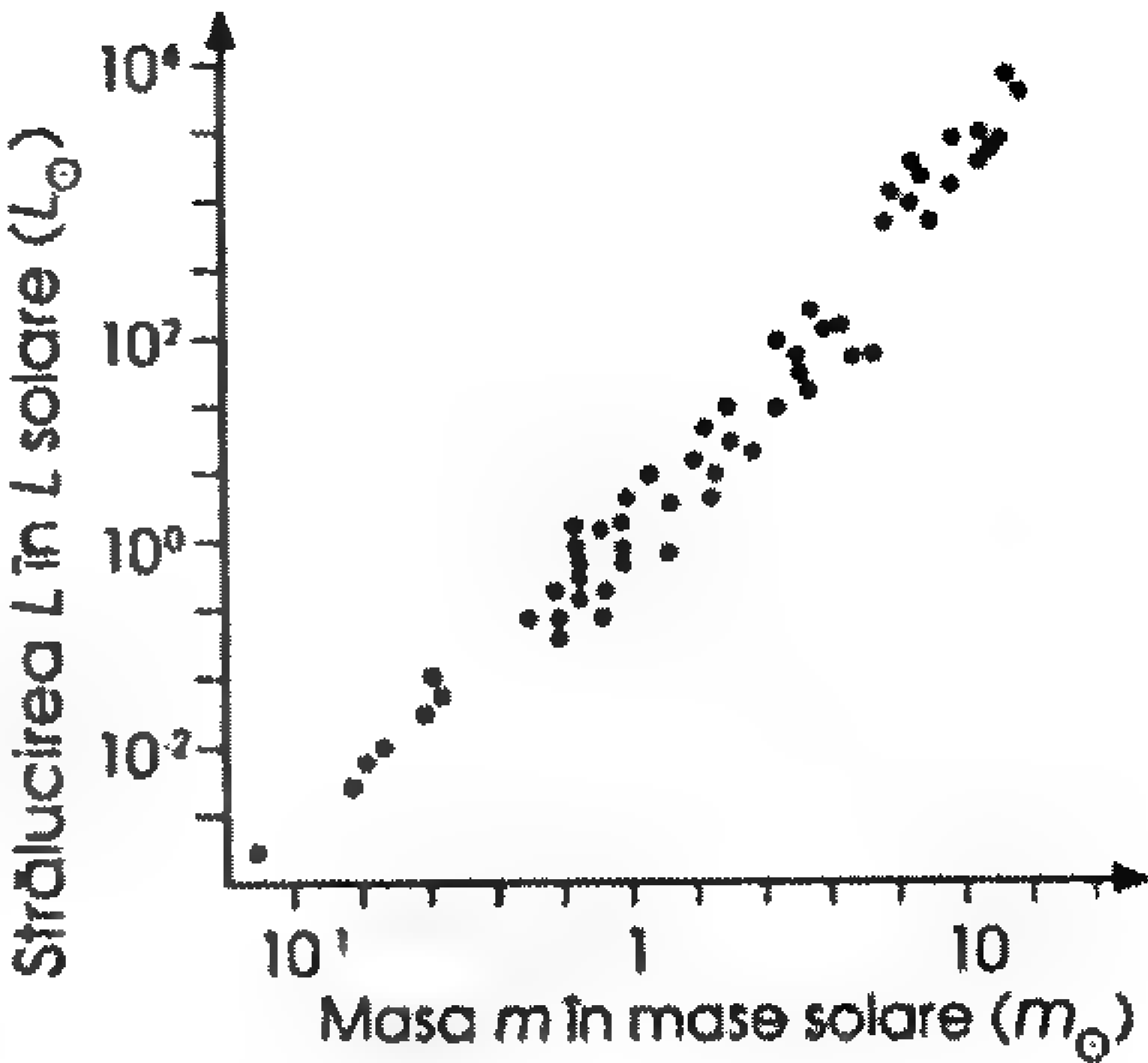
Determinarea masei cu ajutorul relaţiei dintre masă – strălucire

Pentru stelele seriei principale are loc relaţia:

$L \sim m^{3,5}$	O dată cu masa, creşte foarte puternic şi strălucirea.
L – strălucirea m – masa	

Determinarea masei pe această cale se poate face la stelele seriei principale, a căror strălucire poate fi măsurată.

- Când masele a trei stele din seria principală se află în raportul 1 : 2 : 3, strălucirile lor se află în raportul 1 : 11 : 47.



Relația masă-strălucire la stelele seriei principale

Densitatea medie

Când masa m și diametrul D ale unei stele sunt cunoscute, poate fi calculată densitatea medie $\overline{\rho}$:

$$\overline{\rho} = \frac{6 \cdot m}{\pi \cdot D^3}$$

Densitatea medie a stelelor variază între 0,000 000 1 $g \cdot cm^{-3}$ (adică circa 1/10 000 din valoarea densității aerului la suprafața terestră) și 1 000 000 000 000 000 $g \cdot cm^{-3}$.

- Volumul masei de 1000 megatone (10^{12} kg) la diferite clase stelare

Clasa stelară	Densitatea medie	Volumul la 10^{12} kg
Stele neutronice	10^{15} $g \cdot cm^{-3}$	1 cm^3
Pitice albe	10^6 $g \cdot cm^{-3}$	10 000 m^3
Stele de mărimea Soarelui	1 $g \cdot cm^{-3}$	10^9 m^3 = 1 km^3
Gigantice	10^{-3} $g \cdot cm^{-3}$	1 000 km^3
Supragigantice	10^{-7} $g \cdot cm^{-3}$	10^7 km^3

Masa și densitatea medie a unor stele

Steaua	Masa în mase solare	Densitatea medie în $g \cdot cm^{-3}$
Betelgeuse	15	0,000 000 05
Arcturus	3,6	0,000 4
Spica	11	0,03
Sirius A	2,2	0,4
Procyon	1,8	0,7
Altair	1,6	0,9
Sirius B	1,05	400 000

Producţia medie de energie

Cantitatea de energie iradiată (strălucirea) de o stea în raport cu masa sa.

$$\varepsilon = \frac{L}{m}$$

L – strălucirea

m – masa

Producţia medie de energie a stelelor variază între 10^{-2} şi $10^{4}\ \varepsilon_{\odot}$.

Acceleraţia gravitaţională

Acceleraţia unui corp ce se mişcă liber sub influenţa forţei gravitaţionale în direcţia centrului corpului ceresc. Se calculează din relaţia:

[redacted]

G – constanta gravitaţională

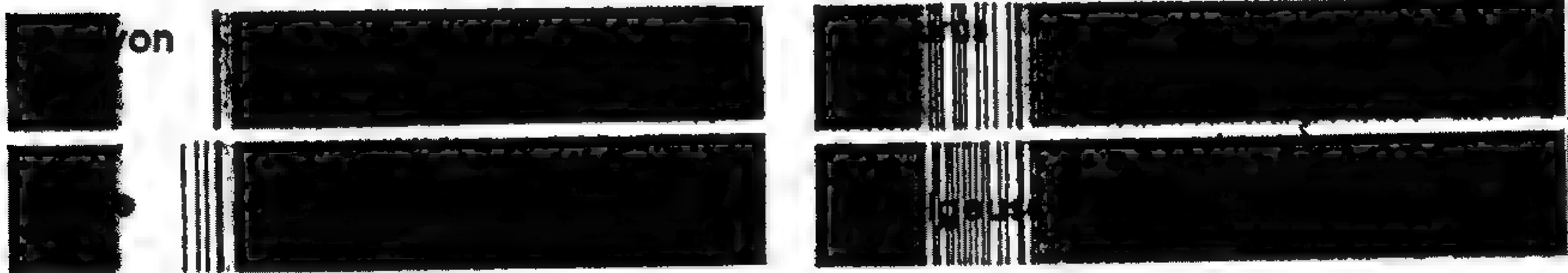
m – masa corpului ceresc

r – distanţa la care se găseşte corpul aflat în cădere faţă de centrul corpului ceresc

Acceleraţia gravitaţională la suprafaţa stelelor din seria principală este aceeaşi cu valoarea caracteristică Soarelui. La stelele gigant şi supragigant, aceasta este mai mică, în timp ce la piticele albe şi la stelele neutronice este cu mult mai mare.

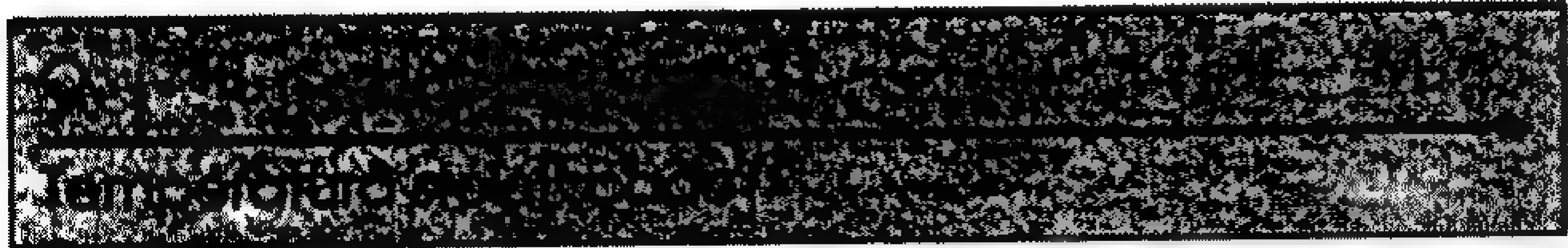
Clasa spectrală

Spectrele stelelor se deosebesc între ele în funcţie de intensitatea radiaţiei (care depinde de lungimile de undă şi de temperatură) şi de structura lor interioară (numărul, plasamentul şi forma liniilor de absorbţie). Diferitele spectre reflectă starea fizică diferită a atmosferelor stelare şi compoziţia lor chimică.



↗ Radiaţia solară, p. 100
↗ Legile radiaţiei, p. 114

Spectrele stelare se împart, după temperatura stelei, în clase principale, redate prin litere de tipar.



Fiecare dintre aceste clase principale (cu excepţia clasei O) este împărţită în 10 subclase, notate cu cifre de la 0 la 9.

Steaua	Clasă spectrală	Steaua	Clasa spectrală
Spica	B1	Soarele	G2
Vega	A0	Arcturus	K1
Deneb	A2	Aldebaran	K5
Atair	A7	Betelgeuse	M1... 2
Steaua Polară	F8	Mira	M7

Câmpul magnetic

Cu ajutorul efectului Zeemann au fost dovedite câmpuri magnetice pentru aprox. 100 de stele, în special din clasele spectrale B, A și F. Intensitatea lor este cuprinsă între 0,01 și 3,4 T (de 20 – 7 000 de ori mai mare decât a câmpului magnetic total al Soarelui) și este variabilă. Câmpuri magnetice de intensitate mai scăzută sunt presupuse la numeroase alte stele; din păcate, existența lor nu a putut fi încă dovedită științific.

Efectul Zeemann. Lărgirea sau dezintegrarea liniilor din spectrele stelare la traversarea de către radiație a unui câmp magnetic. După intensitatea lărgirii sau dezintegrării liniilor spectrale, se poate deduce și intensitatea câmpului magnetic.

Rotația

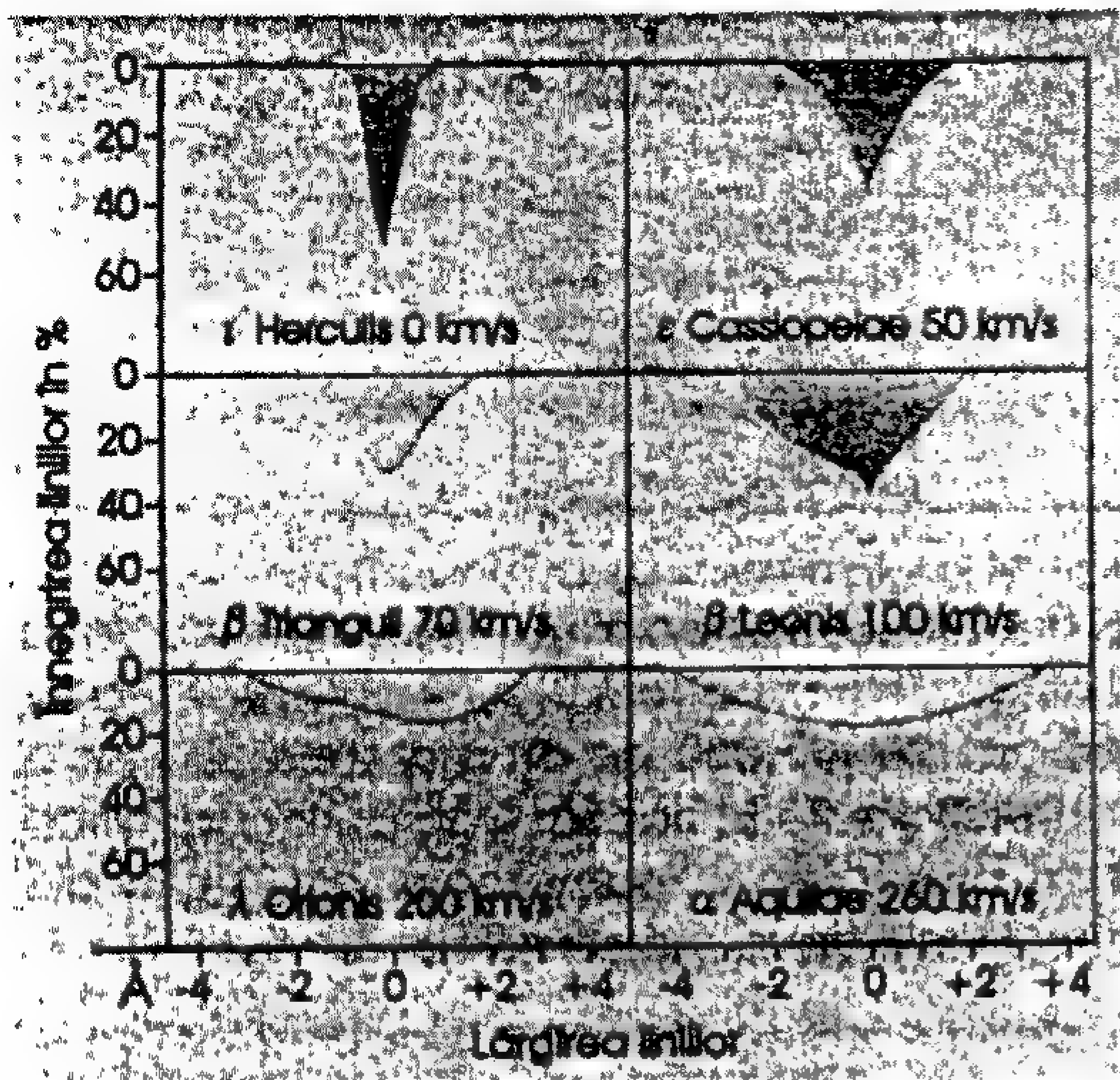
Este imprimată stelelor încă de la apariție prin mișcarea lor în norii interstelari. La stelele seriei principale se remarcă o dependență față de temperatura de suprafață, respectiv clasa spectrului: în general, cu cât este mai mare temperatura, cu atât este mai intensă rotația. Întrucât stelele din clasele spectrale „anterioare" (O, B, A), sunt, în medie, mai tinere decât cele din clasele spectrale „posterioare" (K, M), se poate trage concluzia că, în timpul evoluției lor, stelele își pierd din energia de rotație (de exemplu, prin radiație corpusculară).

Viteza de rotație și clasa spectrală

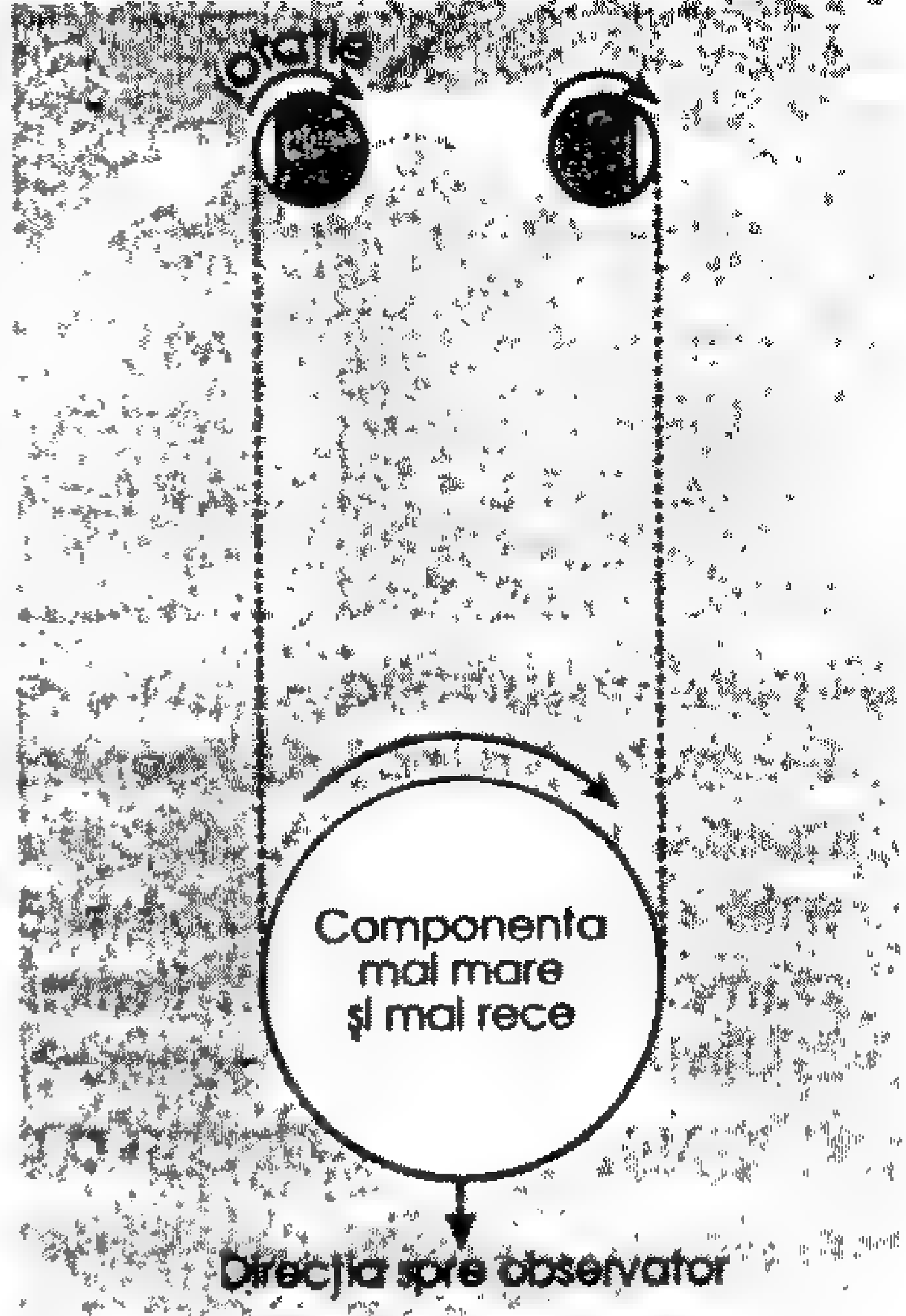
Clasa spectrală	Viteza de rotație
B	200 – 250 km · s^{-1}
A	150 – 200 km · s^{-1}
F	25 – 100 km · s^{-1}
G, K, M	< 25 km · s^{-1}

■ Cea mai mare viteză de rotație observată la o stea: φ Per – 560 km · s^{-1}.
↗ Clasa spectrală, p. 120.

Determinarea vitezei de rotație este posibilă cu ajutorul efectului Doppler. Privind perpendicular pe axa de rotație, o parte a stelei se depărtează de noi, în timp ce partea cealaltă se apropie de noi. Deplasarea liniilor spectrale produsă de acest fenomen apare în spectrul stelei ca o lățire a liniilor. Cu cât sunt mai late liniile, cu atât este mai rapidă rotația.



Lărgirea liniei magneziului cu λ = 448,1 nm, la stele cu diferite viteze de rotaţie



Determinarea rotaţiei la variabilele de acoperire

În cazul *variabilelor de acoperire*, una dintre componente acoperă temporar o parte sau alta a celei de-a doua componente. Deplasarea liniilor spectrale spre domeniul roşu sau albastru al spectrului poate fi observată de sine stătător (separat). Şi întrucât la aceste stele poate fi determinat şi diametrul, se poate calcula valoarea absolută a vitezei de rotaţie. Prin aceasta se verifică scala lăţirii liniilor spectrale.

Observând axa de rotaţie sub un unghi mai mic de 90° (ceea ce va fi un caz normal), viteza reală de rotaţie va fi mai mare decât cea dedusă din lăţirea liniilor spectrale.

↗ Efectul Doppler, p. 122.
↗ Variabile, stele variabile p. 130.
↗ Determinarea diametrului stelelor, p. 116.

Efectul Doppler. Apare la propagarea şi recepţia undelor. Modificându-se distanţa dintre sursa radiaţiei şi observator, creşte şi numărul de unde receptate, atunci când sursa şi receptorul se apropie. Numărul de unde receptate se micşorează când sursa şi receptorul se distanţează. La apropiere, tonurile devin mai înalte, iar lumina se deplasează spre albastru. La îndepărtare, tonurile devin, din contră, mai joase, iar lumina se deplasează spre roşu.

Pentru frecvenţa *f* receptată de observator există relaţia:

$f = f_0\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$	f_0 – frecvenţă reală v – viteza relativă între sursă şi receptor c – viteza de propagare a undelor
$v \ll c$ + apropiere – depărtare	

Lungimea de undă pare să se modifice astfel: $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, ceea ce face să existe relația:

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c}$	λ - lungimea de undă receptată λ_0 – lungime de undă emisă v_r – viteza radială c – viteza de propagare a undelor
$v \ll c$	

Fenomenul descoperit de Christian Doppler (1803 – 1853) are o mare importanță pentru astronomie.

↗ Rotația stelelor, p. 121.
↗ Metoda deplasării spre roşu, p. 111, 122, 158.
↗ Descoperirea expansiunii Universului, p. 180.

Compoziția chimică

Prin analiza spectrală a fost pusă în evidență – cu rare excepții, o surprinzător de unitară compoziție chimică a straturilor stelare exterioare:

Hidrogen	60... 70 %;
Heliu	30... 40 %;
Elemente grele	2... 4 %.

Din teoria apariției stelelor reiese că alcătuirea chimică în interiorul stelelor este astfel modificată de fuziunea nucleară, încât există mai mult heliu şi mai puțin hidrogen.

La explozia supernovelor, în câteva secunde pot apărea elemente mai grele decât fierul, până la Californiu ($^{254}_{98}Cf$) Prin aceste procese, prin care părți ale stelelor sunt proiectate în Univers, materia interstelară se îmbogățeşte cu elemente grele.

↗ Analiza spectrală, p. 123. ↗ Procesele de emisie de energie, p. 125, 179.
↗ Evoluția stelelor, p. 134, 179.

Analiza spectrală. Metodă de cercetare analitică a spectrelor. Ea se bazează pe următoarele cunoştințe:

- Gazele luminoase, supuse unei presiuni nu prea înalte şi unei temperaturi nu prea mari, produc un spectru de linii. Numărul şi poziția liniilor sunt caracteristice pentru fiecare element.
- Dacă lumina unui corp cu un spectru continuu traversează un gaz mai rece, atunci în spectrul continuu apar linii întunecate (linii de absorbție, linii Fraunhofer). Numărul şi poziția lor corespund exact cu liniile spectrale ale spectrelor elementelor care compun gazul traversat. Acest fapt permite identificarea respectivelor elemente.
- Intensitatea unei linii depinde atât de frecvența elementului, cât şi de starea fizică a materiei.

↗ Spectrul solar, p. 100. ↗ Clasa spectrală, p. 120.
↗ Extincția, p. 108. ↗ Dezvoltarea astrofizicii, p. 176.

STRUCTURA INTERNĂ A STELELOR

Starea de echilibru a stelelor

Stelele se află într-o stare de echilibru mecanic şi termic.

Echilibrul mecanic

Pentru fiecare punct al unei sfere de gaz, denumită „stea", este valabilă afirmaţia: „Presiunea exercitată din exterior spre interior de către greutate, este absolut egală cu presiunea exercitată din interior spre exterior de către gaze şi radiaţie".

Echilibrul termic

Energia eliberată în interiorul stelei este egală cu energia eliberată în spaţiu de către suprafaţa stelară. În stea nu se stochează nicăieri energie.

↗ Structura internă a Soarelui, p. 101.

Modelul stelar. Date obţinute prin speculaţii teoretice asupra stării fizice a interiorului stelelor şi asupra modificărilor acestor date de-a lungul evoluţiei stelelor.

Repartiţia masei

Masa stelară nu este repartizată uniform în interiorul stelelor, ci este cu atât mai concentrată cu cât ne apropiem de centru.

Repartiţia densităţii

Ca urmare a unei repartiţii inegale a masei în stele, densitatea creşte puternic de la exterior spre interior.

■ Soarele: densitatea medie: $1{,}41\ g \cdot cm^{-3}$;
densitatea în centru: $134\ g \cdot cm^{-3}$.

Repartiţia temperaturii

Temperatura stelelor creşte puternic de la exterior la interior (10^7 K până la 10^9 K, Soarele aproximativ $15 \cdot 10^6$ K).
În aceste condiţii, este posibilă fuziunea nucleară, care duce la eliberarea de energie.

↗ Cercetarea structurii stelelor, p. 177.

Repartiţia presiunii

Presiunea creşte de la 0, la suprafaţa stelară, la valori foarte mari în centrul stelei. În fiecare punct al interiorului stelei ea este atât de mare încât să suporte greutatea masei aflată pe direcţia verticală deasupra lui.

■ Soare: presiunea la $1/2\ R_\odot$: $6 \cdot 10^{13}$ Pa;
presiunea în centru: $2210 \cdot 10^{13}$ Pa.

PROCESE DE EMISIE DE ENERGIE ÎN STELE

Fuziunea nucleară

Stelele emit, de-a lungul unor mari perioade de timp, o foarte mare cantitate de energie. Numai prin procese atomice sunt în măsură ca, într-o atât de mare perioadă de timp, de ordinul miliardelor de ani, să emită energie de acest ordin de mărime.

În stele, la temperaturi foarte înalte, nucleele atomice uşoare fuzionează, dând naştere unor nuclee atomice mai grele. Masa nucleului nou format este mai mică decât suma maselor nucleelor atomice fuzionate. Acest *defect de masă* este eliberat, conform ecuaţiei Einstein a echivalenţei, ca radiaţie.

Tipul de fuziune nucleară depinde de condiţiile fizice existente în interiorul stelei, în special de temperatură şi de tipul particulelor existente.

Cele mai importante procese sunt:
- reacţia proton–proton;
- reacţia heliului;
- ciclul C–N–O.

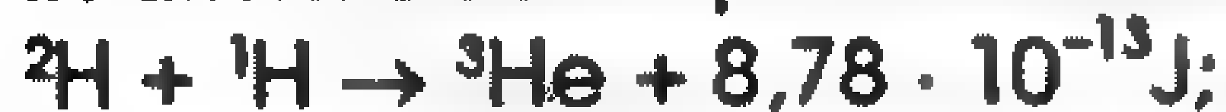
Reacţia proton–proton, reacţia pp

La temperaturi de peste $5 \cdot 10^6$ K, întregul nucleu al stelei se comportă ca un reactor nuclear, în care au loc următoarele procese:

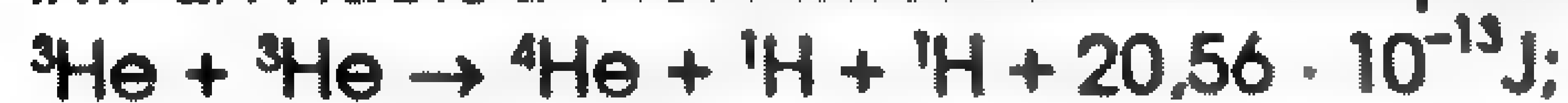
1) Două nuclee de hidrogen ^1H (protoni) se unesc într-un nucleu de deuteriu ^2H. În plus, iau naştere un pozitron e^+ şi un neutrino ν. De asemenea, se eliberează energie electromagnetică:


$^1H + {}^1H \rightarrow {}^2H + e^+ + \nu + 2{,}30 \cdot 10^{-13}$ J;

2) Nucleul de deuteriu ^2H se uneşte cu un alt proton, formând un nucleu de ^3He. În urma acestui proces se emite din nou radiaţie electromagnetică:


$^2H + {}^1H \rightarrow {}^3He + 8{,}78 \cdot 10^{-13}$ J;

3) În timpul procesului, două dintre nucleele ^3He astfel formate se unesc într-un nucleu ^4He. Astfel se emit doi protoni şi radiaţie electromagnetică:


$^3He + {}^3He \rightarrow {}^4He + {}^1H + {}^1H + 20{,}56 \cdot 10^{-13}$ J;

Indicaţie: Cele două trepte iniţiale ale reacţiei trebuie să fie parcurse de două ori pentru a putea fi puse la dispoziţia ultimei trepte de reacţie particulele necesare!

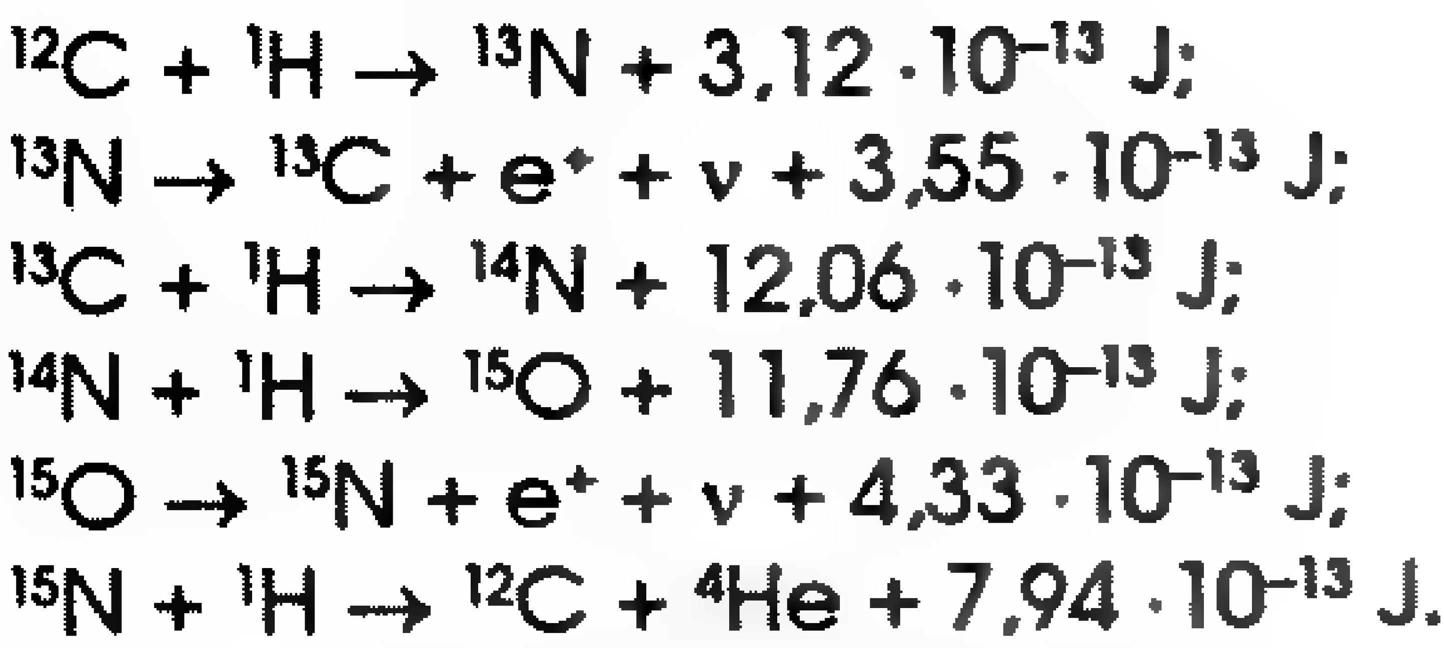
Bilanţul general al procesului:
- patru protoni se unesc într-un nucleu ^4He;
- o energie de $41{,}92 \cdot 10^{-13}$ J pentru fiecare nucleu ^4He este eliberată sub formă de radiaţie;
- doi neutrino părăsesc steaua.

■ La transformarea unui gram de hidrogen ($6 \cdot 10^{23}$ protoni) se eliberează $62 \cdot 10^{10}$J = 172 000 kW.

■ Reacţia pp joacă un rol hotărâtor în eliberarea de energie de către Soare.

Ciclul C–N–O, ciclul Bethe–Weizsäcker

La temperaturi de peste 10^7 K, pe lângă reacţia pp se desfăşoară un al doilea proces, a cărui productivitate este, la peste 16 milioane K, mai mare decât cea a procesului pp:


$^{12}C + {}^{1}H \rightarrow {}^{13}N + 3{,}12 \cdot 10^{-13}$ J;
$^{13}N \rightarrow {}^{13}C + e^{+} + \nu + 3{,}55 \cdot 10^{-13}$ J;
$^{13}C + {}^{1}H \rightarrow {}^{14}N + 12{,}06 \cdot 10^{-13}$ J;
$^{14}N + {}^{1}H \rightarrow {}^{15}O + 11{,}76 \cdot 10^{-13}$ J;
$^{15}O \rightarrow {}^{15}N + e^{+} + \nu + 4{,}33 \cdot 10^{-13}$ J;
$^{15}N + {}^{1}H \rightarrow {}^{12}C + {}^{4}He + 7{,}94 \cdot 10^{-13}$ J.

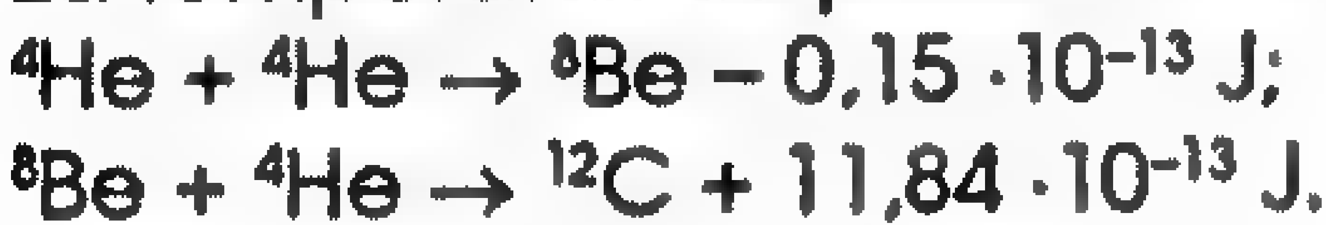
Bilanțul general al procesului:
- Din patru protoni ia naștere un nucleu de heliu (nucleele de N și O sunt produse intermediare; nucleul de ^{12}C, necesar pentru prima reacție, stă, la sfârșit, din nou la dispoziție).
- Se eliberează o energie de $40{,}0 \cdot 10^{-13}$ J pe fiecare nucleu de ^{4}He (se exclude energia neutrinilor care părăsesc steaua).

■ Ciclul C–N–O, joacă, de asemenea, un rol în nucleul Soarelui.

↗ Descoperirea surselor de emisie de energie a stelelor, p. 179.

Reacția heliului, procesul Salpeter, procesul 3d

La temperaturi de peste 10^{8} K începe transformarea heliului în carbon:


$^{4}He + {}^{4}He \rightarrow {}^{8}Be - 0{,}15 \cdot 10^{-13}$ J;
$^{8}Be + {}^{4}He \rightarrow {}^{12}C + 11{,}84 \cdot 10^{-13}$ J.

Bilanțul general al procesului:
- din trei nuclee de ^{4}He (= particule α) se obține un nucleu de ^{12}C;
- se eliberează o energie de $11{,}69 \cdot 10^{-13}$ J pentru fiecare nucleu de ^{12}C.

O mică parte a nucleelor de ^{12}C reacționează cu nuclee de ^{4}He, ducând la formarea oxigenului:


$^{12}C + {}^{4}He \rightarrow {}^{16}O + 7{,}87 \cdot 10^{-13}$ J.

Dependența de temperatură a proceselor de fuziune

Productivitatea proceselor nucleare generatoare de energie depinde foarte mult de temperatură:

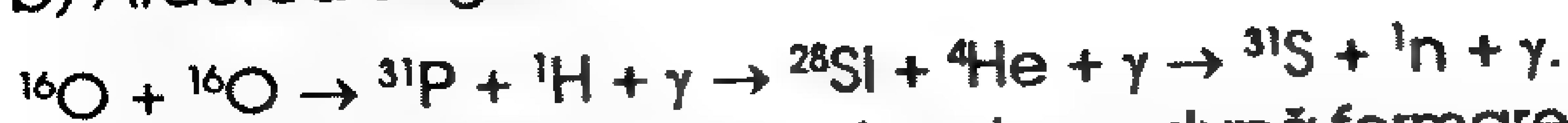
[redacted]	
Reacții pp	$T^{4}...T^{6}$
Ciclul C–N–O	$T^{15}...T^{20}$
Reacția heliului	T^{30}

Formarea elementelor grele. La temperaturi de $5 \cdot 10^{8}$ K... $2 \cdot 10^{9}$ K au loc procese de fuziune care duc la formarea magneziului și sulfului:

a) *Arderea carbonului*


$^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{23}Na + {}^{1}H + \gamma \rightarrow {}^{20}Ne + {}^{4}He + \gamma \rightarrow {}^{23}Mg + {}^{1}n + \gamma$.

La fuziunea a două nuclee de carbon, după formarea a doi izotopi instabili, de ^{23}Na și ^{20}Ne, se formează un nucleu de magneziu. Se eliberează un neutron și radiație electromagnetică.



b) *Arderea oxigenului*

$^{16}O + ^{16}O \rightarrow ^{31}P + ^{1}H + \gamma \rightarrow ^{28}Si + ^{4}He + \gamma \rightarrow ^{31}S + ^{1}n + \gamma$.

La fuziunea a două nuclee de oxigen, după formarea a doi izotopi instabili, ^{31}P şi ^{28}Si, se formează un nucleu de sulf. Se eliberează un neutron şi radiaţie electromagnetică.

Neutronii eliberaţi de aceste reacţii sunt importanţi pentru formarea elementelor şi mai grele (până la Fe), întrucât aceştia sunt neutri din punct de vedere electronic şi se asociază uşor nucleelor existente.

↗ Formarea stelelor, p. 133. ↗Evoluţia stelelor, p. 134, 179.
↗ Radiaţia solară, p. 100.

Procesele de contracţie

Stelele îşi acoperă energia aproape exclusiv din fuziuni nucleare. Doar în faza apariţiei stelelor, înaintea începerii reacţiilor nucleare, şi în scurtele interfaze instabile, contracţia prezintă importanţă.
La contracţia unei protostele, energia potenţială a particulelor se transformă în energie cinetică. Steaua se încălzeşte până când se declanşează reacţiile nucleare şi se atinge o stare quasistaţionară. În timpul evoluţiei stelei survin în interiorul acesteia scurte perturbări de echilibru, acolo unde nu se eliberează încă destulă energie sau nu se mai eliberează destulă energie. În consecinţă, în acele locuri temperatura scade, iar presiunea gravitaţională o depăşeşte pe cea datorată gazelor şi radiaţiei. Interiorul stelei se contractă până în momentul în care creşterea temperaturii reinstalează echilibrul şi o nouă sursă de fuziune îşi începe activitatea.

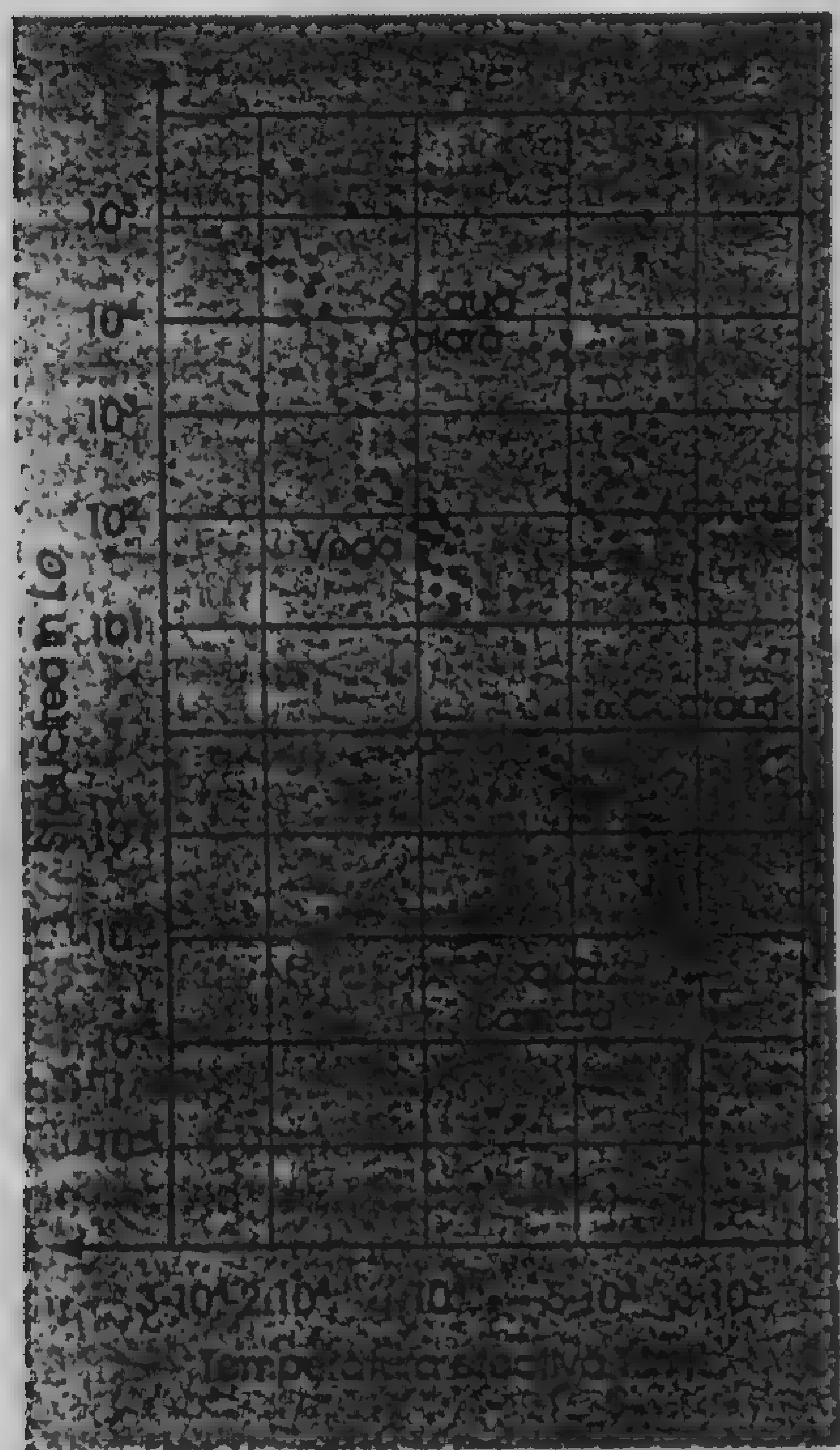
O stea de masa Soarelui şi-ar putea menţine strălucirea doar 20 milioane de ani dacă ar fi alimentată doar de contracţie.

■ ↗ Echilibrul mecanic, p. 124. ↗ Echilibrul termic, p. 124.

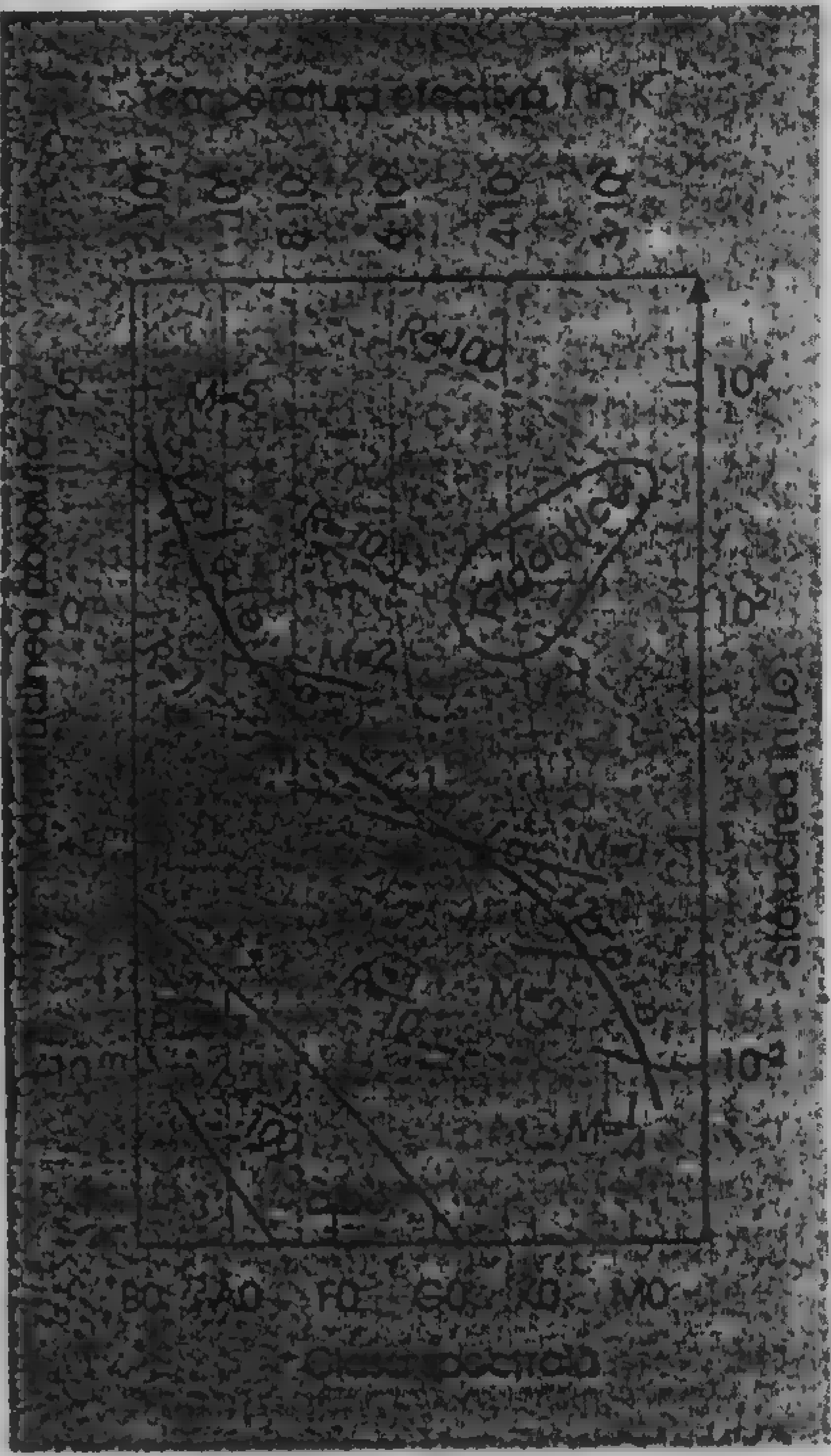
DIAGRAME DE STARE; TIPURI DE STELE

Diagrama Hertzsprung – Russell (DHR)

Diagramă de stare a stelelor în care, pe axa ordonatelor, sunt reprezentate strălucirea şi/sau magnitudinea absolută, iar pe axa absciselor, temperatura şi/sau clasa spectrală.
Starea fizică defineşte locul stelei în DHR. Aglomerarea de poziţii ale stelelo pe DHR oglindeşte o evoluţie relativ stabilă a stelelor.
Seria principală (SP) descrie o diagonală pe DHR, din domeniul caracteriza de strălucire puternică şi temperatură înaltă până în domeniul caracteriza de strălucire redusă şi temperatură scăzută; majoritatea stelelor (cca 90% sunt cuprinse în această diagonală.
Stelele aflate deasupra SP au străluciri mai intense şi diametre mai mari, p când cele aflate dedesubtul SP au străluciri mai reduse şi diametre m mici, la aceeaşi temperatură de suprafaţă.
De aceea, aceste stele sunt numite *gigantice*, respectiv *pitice*.



DHR pentru cele mai strălucitoare şi mai apropiate stele



DHR cu linii de temperatură egală, masă egală şi diametru egal

Stelele seriei principale	Stele plasate în afara seriei principale
Gigantice	Stele de clasă spectrală G până la M care se deosebesc de stelele seriei principale de aceeaşi clasă spectrală (respectiv temperatură) printr-o strălucire mai mare şi un diametru mai mare; ele se află deasupra seriei principale.
Supragigantice	Stele cu o strălucire foarte puternică şi cu un diametru foarte mare; sunt plasate deasupra seriei principale şi deasupra giganticelor.
Pitice albe	Stele cu o strălucire redusă, având o masă echivalentă cu a Soarelui şi diametrul unei planete (↗ Densitatea medie, p. 119); sunt plasate cu circa 8–12 mag sub seria principală, în domeniul claselor spectrale de la B până la G.

↗ Evoluţia stelelor, p. 134, 179.
↗ Cercetarea structurii stelelor, p. 177

Stelele neutronice, pulsari

Stele cu o densitate foarte mare, de până la 1,4 – 2 mase solare şi un diametru de numai câţiva km. Ele radiază în general în domeniul radio, având un puls regulat, cu o perioadă de la 10^{-3} s până la 10^{1} s.
Datorită strălucirii lor foarte reduse, ele nu sunt înregistrate în DHR; au fost descoperite în anul 1967.

↗ Densitatea medie, p. 119; ↗ Evoluţia stelelor, p. 134, 179.

Clasa de strălucire

Mărime care, în legătură cu clasa spectrală, desemnează strălucirea unei stele.
Simbolul pentru clasa de strălucire se adaugă clasei spectrale.

■ Soarele este o stea de clasă spectrală G2 şi de clasă de strălucire V:G2V.

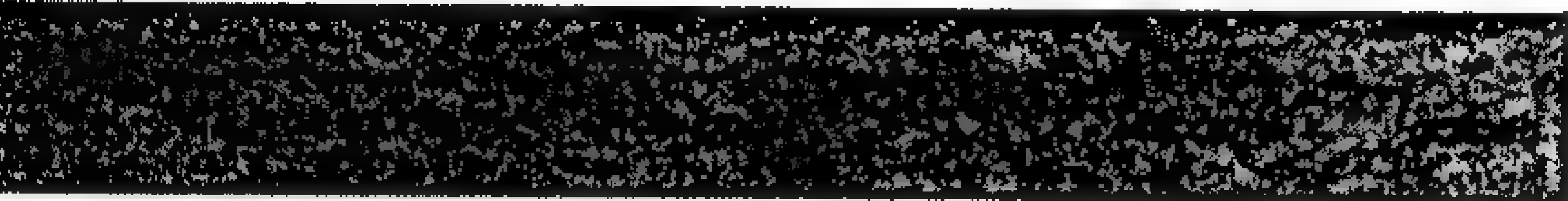
[redacted]

Simbol	Clasă stelară
I	Supragigantice
II	Gigantice luminoase
III	Gigantice normale
IV	Subgigantice
V	Stelele seriei principale
VI	Subpitice

Diagrama culoare – magnitudine (DCM)

Diagramă analoagă DHR, în care magnitudinea aparentă este reprezentată pe axa ordonatelor, iar indicele de culoare pe axa absciselor. Este folosită pentru stelele cu o slabă magnitudine aparentă, pentru care magnitudinea absolută şi clasa spectrală nu se pot determina. Când aceste stele au aproximativ aceeaşi distanţă faţă de Pământ (de exemplu, roiuri de stele), liniile din DCM sunt deplasate paralel, cu o anumită valoare, faţă de liniile din DHR.

Indicele cromatic (*IC*). Diferenţa dintre magnitudinile stelelor în diferite domenii spectrale:



Diferenţa este dependentă de traiectoria curbelor intensităţii spectrale. Altfel, *IC* este un echivalent al temperaturii stelelor.
Convenţional,
IC = 0 la stelele AO ale seriei principale;
IC pozitiv : magnitudine albastră > magnitudine galbenă → stele fierbinţi;
IC negativ : magnitudine albastră < magnitudine galbenă → stele mai puţin fierbinţi.
IC poate fi determinat relativ simplu şi exact la stelele cu o strălucire slabă.

↗ Diagrama Hertzsprung – Russell, p. 127;
↗ Magnitudinea stelelor, p. 107;
↗ Temperatura stelelor, p. 113;
↗ Clasa spectrală, p. 120;
↗ Roiurile de stele, p. 142;
↗ Legile radiaţiei, p. 114.

Stelele duble

Stele duble fizice	*Stele duble optice*
Pereche de stele ce se rotesc în jurul unui centru de greutate comun.	Stele aflate întâmplător pe direcția privirii, dar care sunt la o depărtare diferită față de Pământ.

Doar *stelele duble fizice* prezintă interes pentru astronomie.

Stele duble vizuale	Pot fi sesizate ca fiind despărțite una de alta cu ajutorul lunetei.
Stele duble spectroscopice	Chiar apelând la cele mai bune mijloace optice auxiliare, pot fi observate separat doar prin metode speciale (↗ Interferometria Speckle, p. 116). Sunt recunoscute ca stele duble prin deplasări periodice ale liniilor în spectrul lor comun.
Stele duble fotometrice	Sunt recunoscute ca stele duble prin modificarea magnitudinii caracteristice.
Stele duble astrometrice	Sunt recunoscute ca stele duble din mișcarea de balansare a orbitei unei stele, prin care se deduce existența unei stele însoțitoare neobservabile.

Stelele multiple

Mai mult de două stele care, ca urmare a atracției reciproce, formează o unitate fizică. Adesea, componentele unui sistem multiplu sunt stele duble.

■ Mizar (ξ UMa) formează cu Alcor (11'50'' distanță) și o altă stea mai îndepărtată (14,5'' distanță) o stea triplă vizuală. Toate cele trei componente sunt, în afară de aceasta, stele duble spectroscopice. Dintre acestea, una pare a fi din nou o stea dublă astronomică. Astfel, sistemul Mizar / Alcor ar fi compus din șapte stele.

Variabile, stele variabile

Stele cu o magnitudine variabilă în timp, ca urmare a unor modificări mai mult sau mai puțin periodice ale mărimilor de stare (*variabile fizice*) sau a efectelor de acoperire (*variabile optice, variabile de acoperire*).

Prescurtare: Genitivul latin al numelui constelației este precedat de una sau două majuscule sau de un V însoțit de un număr format din trei cifre, mai mare sau egal cu 335.

■ T Tau; AR Cas; V357 Car

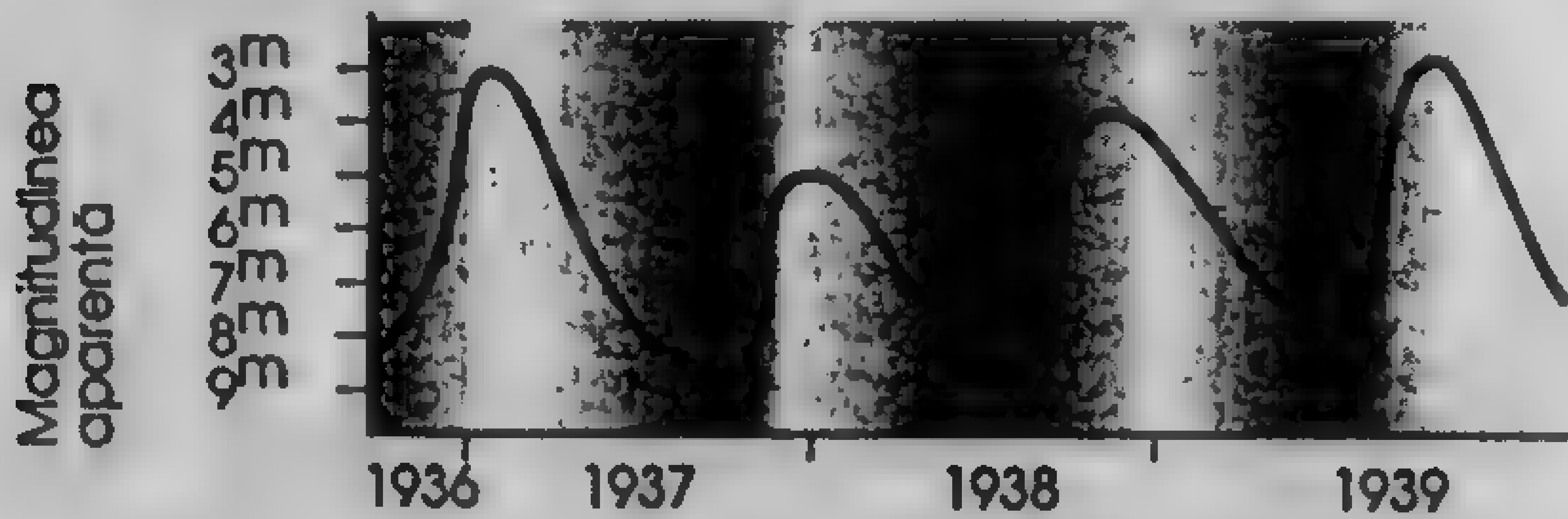
Variabile fizice	*Variabile optice*
Stele aflate în stadii diferite de evoluție, la care mărimile de stare – între care magnitudinea – variază regulat, semiregulat sau neregulat.	Stele duble fizice, al căror plan al orbitei se desfășoară în direcția observației, astfel încât componentele se acoperă periodic (variabile de acoperire). Fiecare dintre cele două componente are în general o magnitudine constantă.

↗ Evoluția stelelor, p. 134, 179;
↗ Masa, p. 118, 124

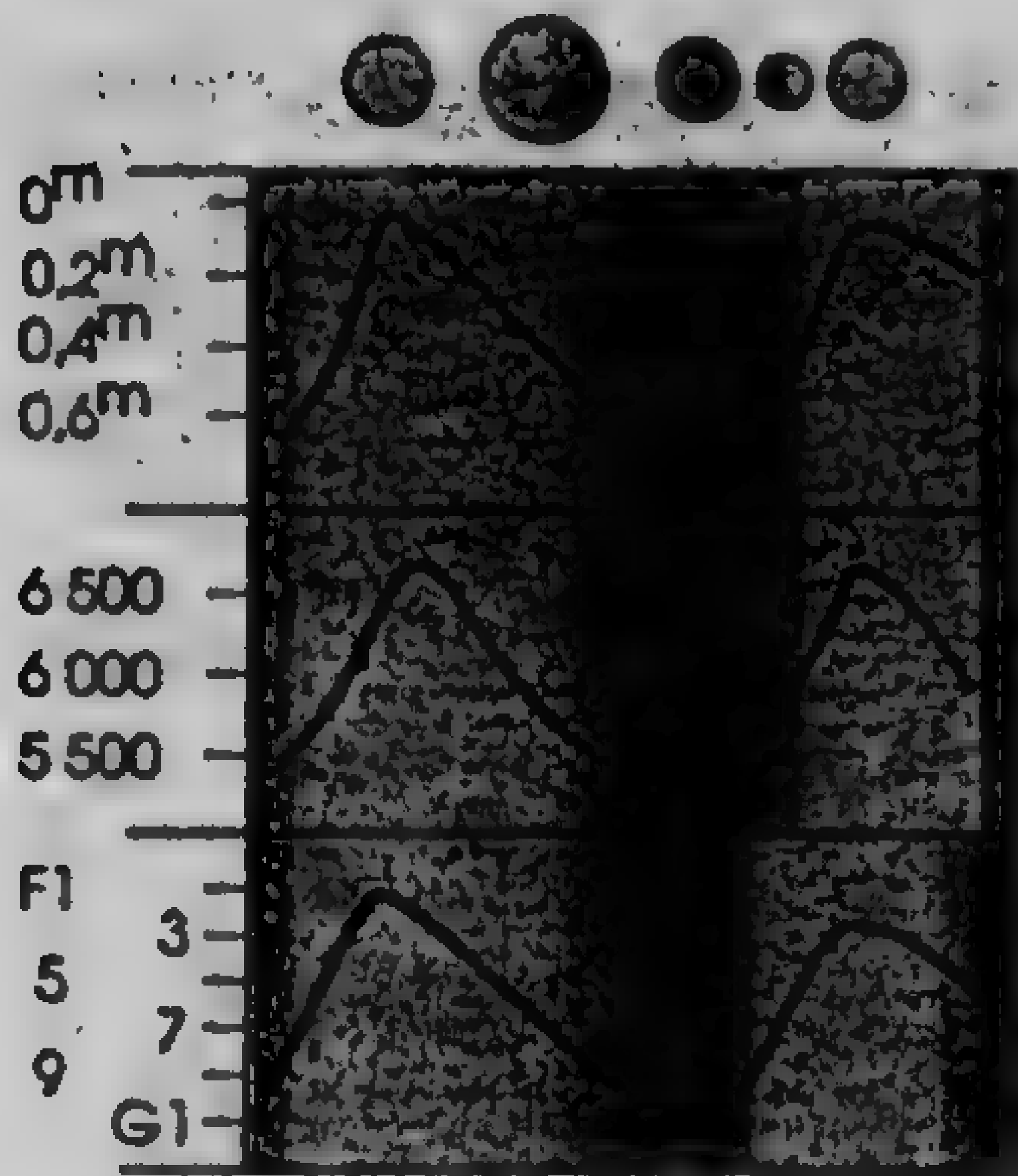
Pulsantele	Pulsația straturilor exterioare ale stelei modifică mărimile de stare: raza, densitatea medie, temperatura, magnitudinea, tipul spectral; se găsesc într-un stadiu înaintat de evoluție; în DHR se află deasupra seriei principale.
Stelele RR–Lyrae	Gigantice periodic variabile, cu perioade de la câteva ore până la circa o zi și oscilații ale magnitudinii cuprinse între 0,5 mag și 1,5 mag.
Stelele δ – Cephei	Gigantice și supragigantice periodic variabile cu perioade de la 1 la 100 zile și oscilații ale magnitudinii de circa 1 mag.
Stelele Mira	Gigantice și supragigantice variabile periodic, cu perioade de 80 până la 1000 zile, ca și oscilații ale magnitudinii de la 2,5 mag până la 10 mag.
Stelele eruptive	Procesele care au loc în straturile exterioare determină o creștere sensibilă a magnitudinii; au loc în stadiul de început sau de sfârșit al evoluției unei stele.
Stelele T – Tauri	Variabile neregulate cu o rapidă modificare a magnitudinii până la 4 mag; se află în stadiul premergător seriei principale.
Novele	Variabile cu schimbare instantanee a magnitudinii până la 20 mag; se află probabil într-un stadiu târziu de evoluție.
Supernovele	Variabile cu masă mare, destul de rare, cu modificări extreme ale magnitudinii de 20 mag; în Calea Lactee, ultima supernovă a fost observată în 1604; după explozie, aceste stele evoluează probabil în stele neutronice sau găuri negre.

↗ Evoluția stelelor, p. 134, 179.

- Supernova descoperită la 23.02.1987 în Marele Nor al lui Magellan este prima a cărei evoluție a fost urmărită, în toate fazele, cu aparate moderne de cercetare.



Curba luminii la Mira



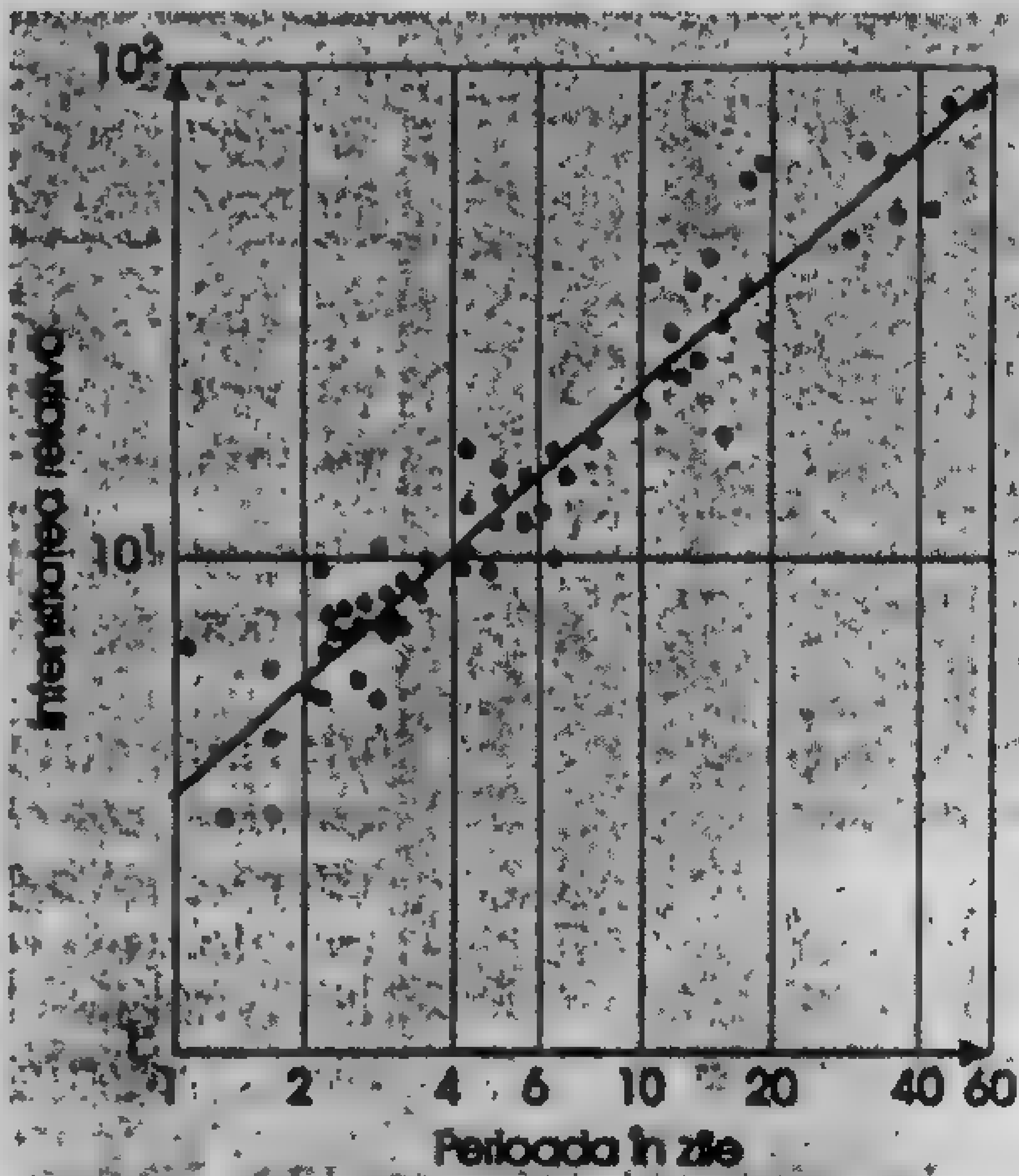
Modificări ale mărimilor de stare la o stea δ – Cephei în timpul unei perioade.
Deasupra: modificarea magnitudinii
Mijloc: temperatura (în K)
Jos: tipul spectral

Relația perioadă – magnitudine

Pentru stelele δ – Cephei este adevărată afirmația: cu cât este mai lungă perioada, cu atât este mai mare magnitudinea absolută (respectiv strălucirea). Din perioada observată poate fi dedusă magnitudinea (respectiv strălucirea). Din magnitudinea absolută și magnitudinea observată poate fi calculată distanța.

Întrucât stelele δ–Cephei sunt gigantice cu o mare magnitudine absolută, ele pot fi observate și în sistemele stelare extragalactice. Pe această cale ar putea fi calculată distanța față de sistemele stelare.

↗ Determinarea distanței, p. 109.



Relația perioade–magnitudini pentru δ–Cepheide

COSMOGONIA STELELOR

Formarea stelelor

Stelele apar, în anumite condiţii, în norii interstelari, atunci când particulele componente ale norilor încep să se contracte sub acţiunea propriei gravitaţii. Astfel, energia potenţială este tranformată în energie cinetică. Odată cu creşterea densităţii cresc temperatura şi presiunea gazelor în masa de gaze contractată, fenomen ce se desfăşoară îndeosebi în zonele centrale.
Faza de contracţie este cu atât mai scurtă, cu cât masa de gaz care se contractă este mai mare. În momentul în care temperatura atinge, în zonele centrale, aproximativ $5 \cdot 10^6$ K, se declanşează reacţiile nucleare.
Corpurile cereşti ce iau astfel naştere evoluează în stele ale seriei principale. În DHR, acestea sunt reprezentate în porţiunea seriei principale, care corespunde masei lor.

↗ Starea de echilibru a stelelor, p. 124;
↗ Procesele de emisie de energie, p. 125, 179;
↗ Diagrama Hertzprung – Russell, p. 127;
↗ Materia interstelară, p. 9, p. 144.

Masa (în mase solare)	Durata aproximativă până la formarea stelelor seriei principale (în 10^6 ani)	Temperatura de suprafaţă aproximativă	Clasa spectrală
		a stelelor aflate în formare	
0,65	150	4400 K	K3
1,00	30	5850 K	G1
1,55	8	7500 K	F0
2,29	3	9300 K	A3

Formarea stelelor duble

Stelele se formează aproape întotdeauna în roiuri. Dacă două stele se află una în câmpul de atracţie ale celeilalte, atunci acestea se rotesc în jurul unui centru de greutate comun şi formează un sistem de stele duble.
În mod asemănător apar şi sistemele de stele multiple. La acestea, rotaţia are loc după reguli mai complicate.

↗ Stelele duble fizice, p. 130; ↗ Stelele multiple, p. 130.

Formarea planetelor din stele

Când norul care se contractă se roteşte foarte repede, materia interstelară se aplatizează. Din partea centrală a acestui disc, mai densă şi cu masă mai mare, poate lua naştere o stea, iar din regiunile periferice, cu densitate şi masă mai mică, pot lua naştere alte corpuri cereşti, precum planete şi sateliţi. Conform acestui scenariu, sistemele planetare nu trebuie să constituie o raritate în jurul stelelor.
Ca urmare a răcirii ce survine în exteriorul discului, din ce în ce mai multă materie se condensează.

Particulele de praf şi rezultatele condensării se aglomerează, prin ciocnire, în blocuri de dimensiuni mai mari, denumite planetezimale. Prin contopirea planetezimalelor, protoplanetele se încălzesc puternic sub acţiunea presiunii gravitaţionale şi a proceselor radioactive. Prin scufundarea elementelor grele aflate în compoziţie (Fe, Ni) se produce o diferenţiere a materialelor. Restul materialului aflat în componenţa discului, ce nu a fost folosit pentru formarea planetelor şi a sateliţilor, rămâne în cadrul sistemului planetar sub formă de comete, planetoizi, meteoriţi.

↗ Formarea Sistemului Solar, p. 96.

Evoluţia stelelor

Eliberarea de energie conduce la transformări ireversibile în stea. Ea parcurge trei faze de dezvoltare:

- *faza seriei principale;*
- *faza gigantici;*
- *faza finală.*

Faza seriei principale	Eliberare de energie prin transformarea hidrogenului în heliu în nucleul stelei (reacţie pp, ciclu C–N–O). Cea mai lungă fază evolutivă a fiecărei stele. Durata acestei faze depinde de masă (adică de rezervele de hidrogen din nucleu) şi de strălucire. După epuizarea rezervelor de hidrogen din nucleu are loc contracţia nucleului; temperatura creşte până la aproximativ 10^8 K, ca urmare a transformării energiei potenţiale în energie cinetică.
Faza giganticii	Eliberare de energie prin transformarea în nucleul stelei a heliului în carbon şi alte elemente (reacţia heliului). Continuarea reacţiei pp într-un înveliş care înconjoară nucleul. Mărirea dimensiunilor învelişurilor exterioare. Durata acestei faze este mai scurtă decât în stadiul seriei principale. Parcurgerea fazelor în care steaua apare ca variabilă.
Faza finală	După epuizarea surselor de energie, în funcţie de masa remanentă, steaua se transformă într-o *pitică albă*, o *stea neutronică* sau o *gaură neagră*.

↗ Masa, p. 124;
↗ Procesele de emisie de energie, p. 125, 179.
↗ Diagrama Hertzsprung – Russell, p. 127.
↗ Variabile, stele variabile p. 130;
↗ Stelele neutronice, p. 129.
↗ Determinarea masei cu ajutorul relaţiei masă–strălucire, p. 118
↗ Elaborarea unei teorii asupra evoluţiei stelelor, p. 179

Găurile negre

Corpuri cereşti presupuse, având o mare densitate şi un câmp gravitaţional extrem de mare în jurul lor. La suprafaţă, acceleraţia gravitaţională este atât de mare, încât nici particulele, nici radiaţia electromagnetică nu pot părăsi obiectul. Găurile negre nu pot fi puse în evidenţă prin mijloace directe.

Teoretic, găurile negre se formează în stadiile finale ale evoluţiei unei stele. Ele iau naştere din stele a căror masă este de cel puţin 2 – 2,5 ori mai mare decât masa Soarelui.

Dezvoltarea vieţii în Cosmos

Evoluţia naturală a vieţii presupune ca primă treaptă a evoluţiei biologice o autoorganizare chimică a materiei.

Ipoteze. Condiţiile esenţiale pentru evoluţia vieţii în Cosmos sunt:

- Existenţa materiei prime organice. Aceasta poate fi dovedită pe numeroase căi.
- Existenţa planetelor într-un sistem potrivit al seriei principale. Această stea nu trebuie să aibă o masă prea mare, deoarece evoluţia sa se desfăşoară prea rapid pentru a permite existenţa perioadei de timp necesare pentru dezvoltarea vieţii. Pe de altă parte, masa stelei nu trebuie să fie nici prea mică, pentru ca strălucirea sa să permită cel puţin încălzirea planetelor aflate în imediata apropiere. Aceste condiţii sunt cel mai bine îndeplinite de către stelele seriei principale de clasă spectrală G şi de cele ale domeniilor învecinate, de clasă spectrală F şi K.
- Condiţii pentru formarea pe căi anorganice a acizilor nucleici şi a protonilor (ex. radiaţie cosmică, fulgere, radiaţie ultravioletă). În locul legăturilor carbonului sunt imaginate şi legături ale siliciului (la temperaturi înalte).
- Existenţa apei. În anumite condiţii pot fi imaginaţi şi alţi dizolvanţi, cum ar fi, la temperaturi joase, amoniacul.
- Existenţa unei atmosfere în care să se afle componente necesare menţinerii şi dezvoltării vieţii; de asemenea, numărul componentelor dăunătoare vieţii trebuie să fie redus.
- Un domeniu de temperatură în care legăturile moleculare ale carbonului (sau siliciului) să rămână viabile şi active (circa –25°C... +70°C) („Ecosfera").

Forme de viaţă în Cosmos. Formele de viaţă extraterestră se deosebesc probabil fundamental de formele de viaţă terestră. După cunoştinţele actuale, viaţa este în primul rând legată de carbon, oxigen şi apă. În alte condiţii, există probabil alte substanţe–suport, cum ar fi siliciul şi amoniacul, care preiau, într-o altă formă, funcţiile de evoluţie şi prezervare a vieţii.

Frecvenţa vieţii în Cosmos. Ecuaţia lui Drake

Frank D. Drake (n. 1930), de la radioobservatorul Green Bank, din Virginia de Vest (S.U.A.), a stabilit, în 1961, împreună cu alţi 10 participanţi la o conferinţă având ca temă viaţa extraterestră, *condiţiile pentru existenţa unei vieţi înalt - organizate şi realizarea de contacte cu aceasta.*

Ecuaţia lui Drake
(ecuaţia Sagan–Drake, ecuaţia Green Bank)

$$N = R \cdot k_1 \cdot n_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot n_2$$

unde:

N – numărul de civilizații din Calea Lactee dezvoltate din punct de vedere tehnic;
R – numărul de stele din Calea Lactee asemănătoare Soarelui ;
k_1 – numărul de stele de tip R care au sisteme planetare;
n_1 – numărul de planete dintr-un sistem k_1 care posedă condițiile ecologice pentru apariția și dezvoltarea vieții;
k_2 – numărul de planete de tip n_1 pe care există într-adevăr viață;
k_3 – numărul de planete de tip k_2 pe care există viață inteligentă;
k_4 – numărul de planete de tip k_3 pe care există civilizații cu o tehnică dezvoltată, în măsură să comunice cu civilizații de pe planete aflate la mare depărtare;
n_2 – durata medie de existență a unei civilizații de tip k_4.

Fiecare factor din ecuația lui Drake îl restricționează pe precedentul. Aprecierea valorii acestor factori variază în limite foarte largi. Ei depind de idei puternic subiective (k_2, k_3, k_4, n_2). Astfel, concluziile individuale ce se desprind din ecuația lui Drake evoluează de la existența vieții (inteligente) pe o singură planetă (Pământul), până la o mare frecvență a vieții (inteligente) în Univers.

Condiții pentru realizarea contactului cu civilizații extraterestre

- Inteligența căutată trebuie să existe (ecuația lui Drake).
- Aceasta trebuie ca, în momentul receptării mesajului terestru, să fie în stare din punct de vedere tehnic și să dorească să-l înțeleagă, să-l identifice și să răspundă (factorii k_4 și n_2 din ecuația lui Drake).
- Aceasta trebuie să se afle la o distanță la care să poată recunoaște că semnalul terestru (a cărui intensitate scade cu pătratul distanței) este de natură artificială.
- Răspunsul trebuie să survină într-un punct temporal în care civilizația terestră încă există.

Vârsta stelelor

Timpul scurs de la atingerea fazei seriei principale.

Determinarea vârstei stelelor

Ca și în cazul strălucirii și masei, există o limită superioară și pentru durata rămânerii stelei în faza seriei principale (t_{sp}). Dacă steaua se află încă în seria principală a DHR, atunci ea nu a atins încă această limită de vârstă (doar în cazuri excepționale se poate determina cât de tânără este steaua). ↗ Determinarea vârstei roiurilor de stele, p. 137;

Dacă steaua a părăsit deja seria principală, vârsta sa este mai mare decât t_{sp}.

[redacted]	$L \sim m^{3,5}$

↗ Relația masă – strălucire, p. 118.

[redacted]

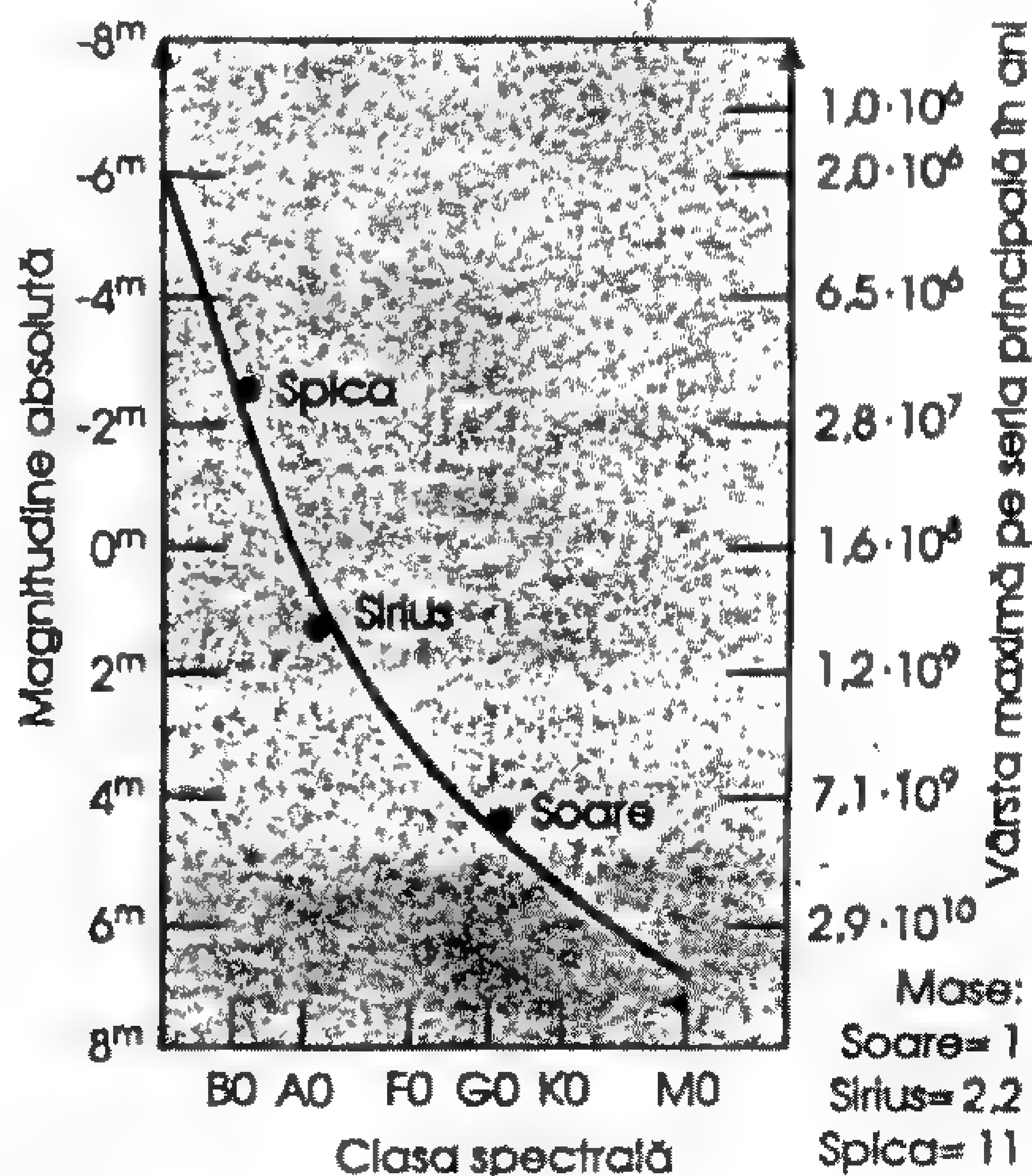
Întrucât doar în interiorul stelei există condiţii pentru transformarea energiei, doar 10% din masa solară este depozitara rezervei de energie.

Fiecărei mase stelare îi corespunde un timp maxim de staţionare t_{sp} în seria principală. Acesta este cu atât mai mic cu cât masa stelei este mai mare.

↗ Masa, p. 124.
↗ Determinarea masei cu ajutorul relaţiei masă – strălucire, p. 118.

- Soarele are o vârstă de 4 până la 5 miliarde de ani. Stelele cu masă mai mare ce se găsesc încă în faza seriei principale (de exemplu Sirius şi Spica), trebuie să fi apărut mai târziu decât Soarele, întrucât poziţia lor pe DHR, care arată timpul de staţionare în seria principală, indică faptul că vârsta lor este mai mică decât vârsta Soarelui.

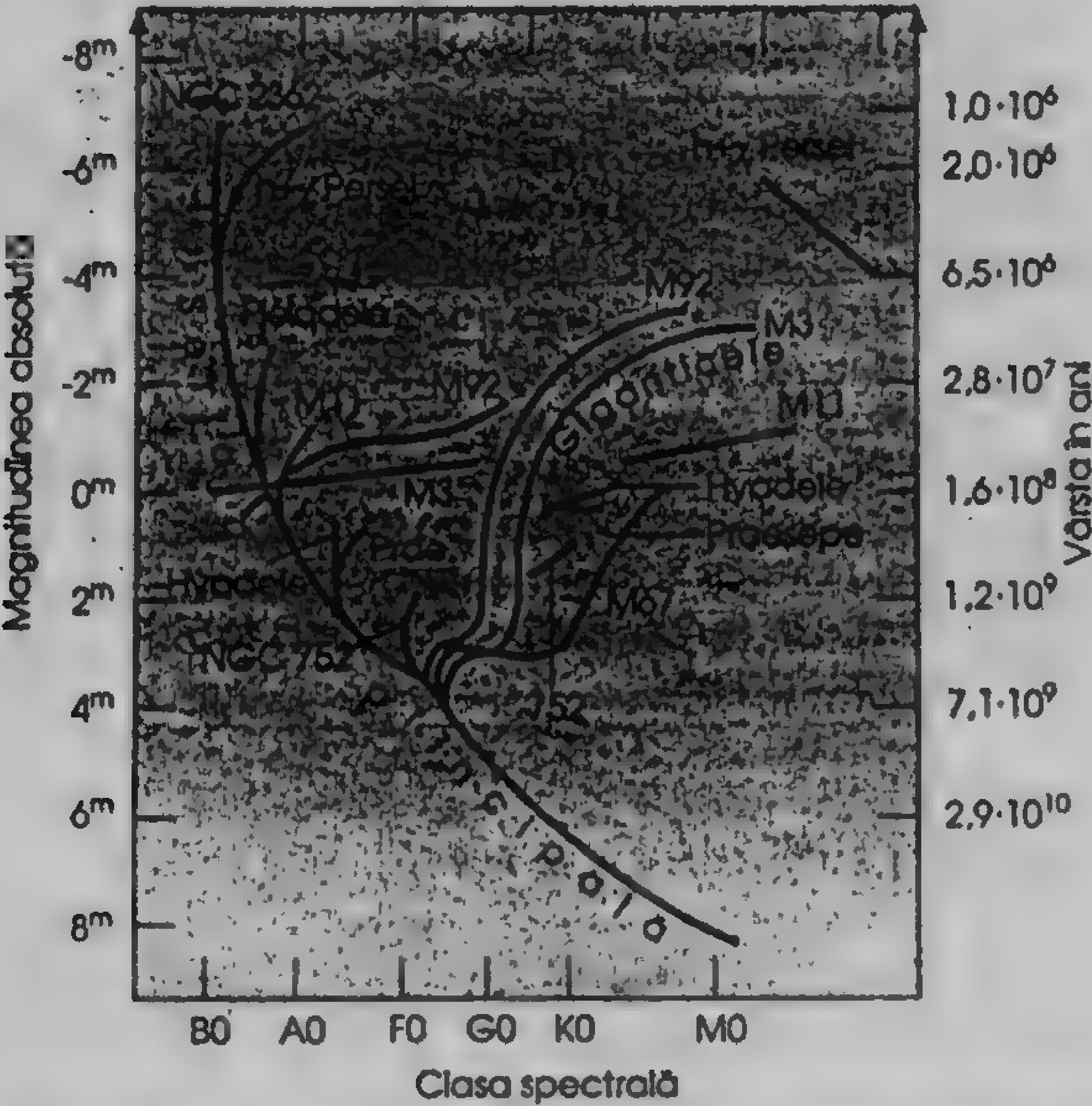
Procesul formării stelelor nu este un proces unic, ci durează în Calea Lactee de mai multe miliarde de ani.



DHR cu seria principală şi liniile de vârstă egală, împreună cu unele stele din seria principală

Determinarea vârstei roiurilor de stele

Stelele care fac parte din roiuri de stele (↗ p. 142) au apărut practic concomitent şi au aceeaşi compoziţie chimică. Ele se află la aproximativ aceeaşi distanţă de Pământ. Întrucât au mase diferite, ele se dezvoltă diferit în timp. Stelele cu masă mai mare părăsesc deja seria principală, în timp ce stelele cu masă mai mică se află încă în seria principală. Graniţa dintre stelele ce tocmai au părăsit seria principală şi cele care încă mai fac parte din seria principală poartă numele de *punct de rupere*.
Vârsta t_{sp} corespunzând punctului de rupere este aceeaşi cu vârsta tuturor stelelor din roi.



DHR-ul roiurilor de stele

[redacted]

Desemnare	Tipul roiului	Vârsta aproximativă
h şi χ Per	roiuri deschise	$3 \cdot 10^6$ ani
Pleiadele	roiuri deschise	10^8 ani
Hyadele	roiuri deschise	$1{,}2 \cdot 19^9$ ani
M 92	roiuri globulare	5 până la $7 \cdot 10^9$ ani
M 3	roiuri globulare	6 până la $8 \cdot 10^9$ ani

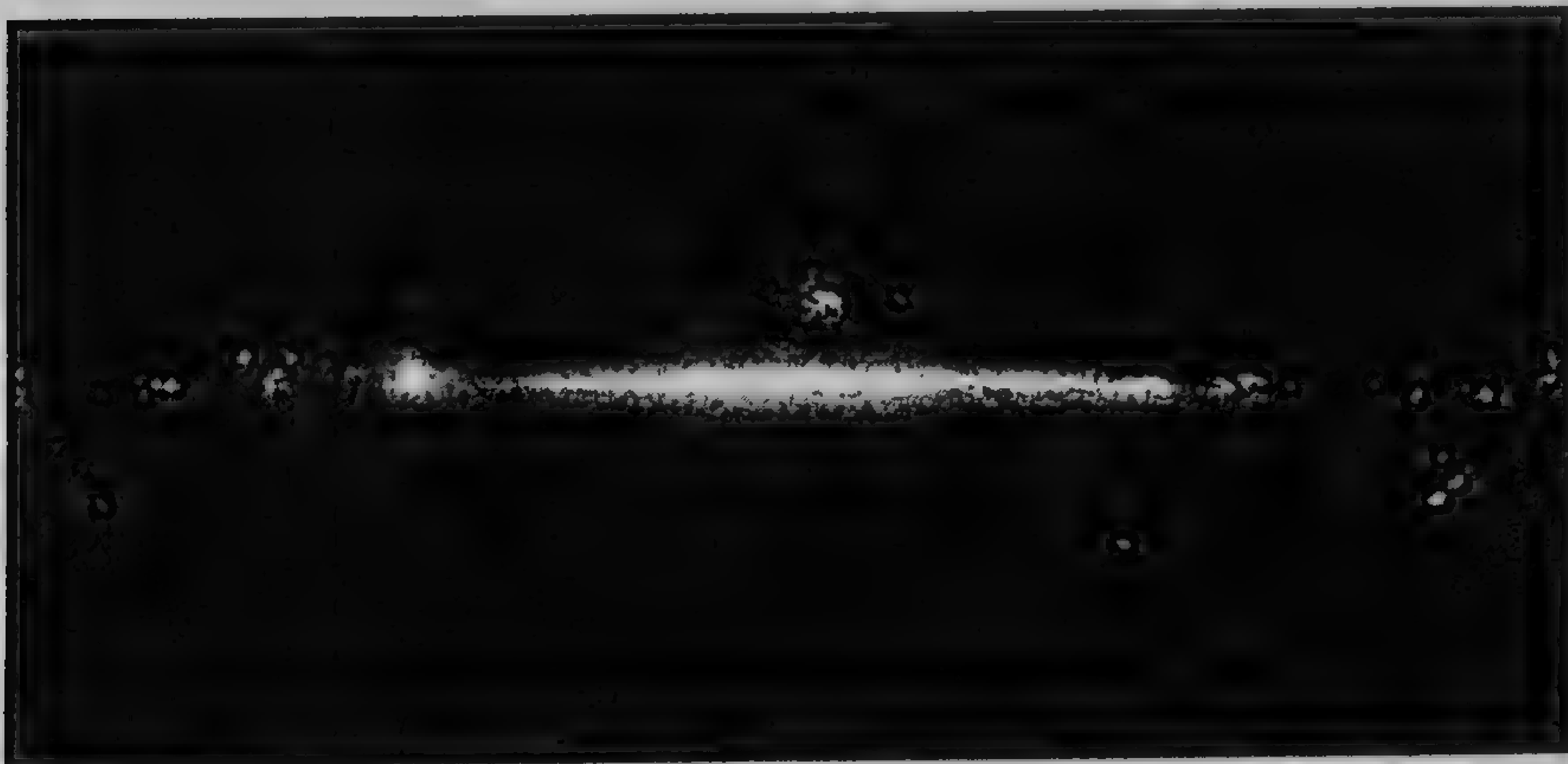
↗ Roiuri de stele, p. 137, 142.


[redacted]

↗ Vârsta Universului, p. 160;
↗ Determinarea vârstei proceselor cosmice, p. 161;
↗ Teoria exploziei iniţiale, p. 161, 181.

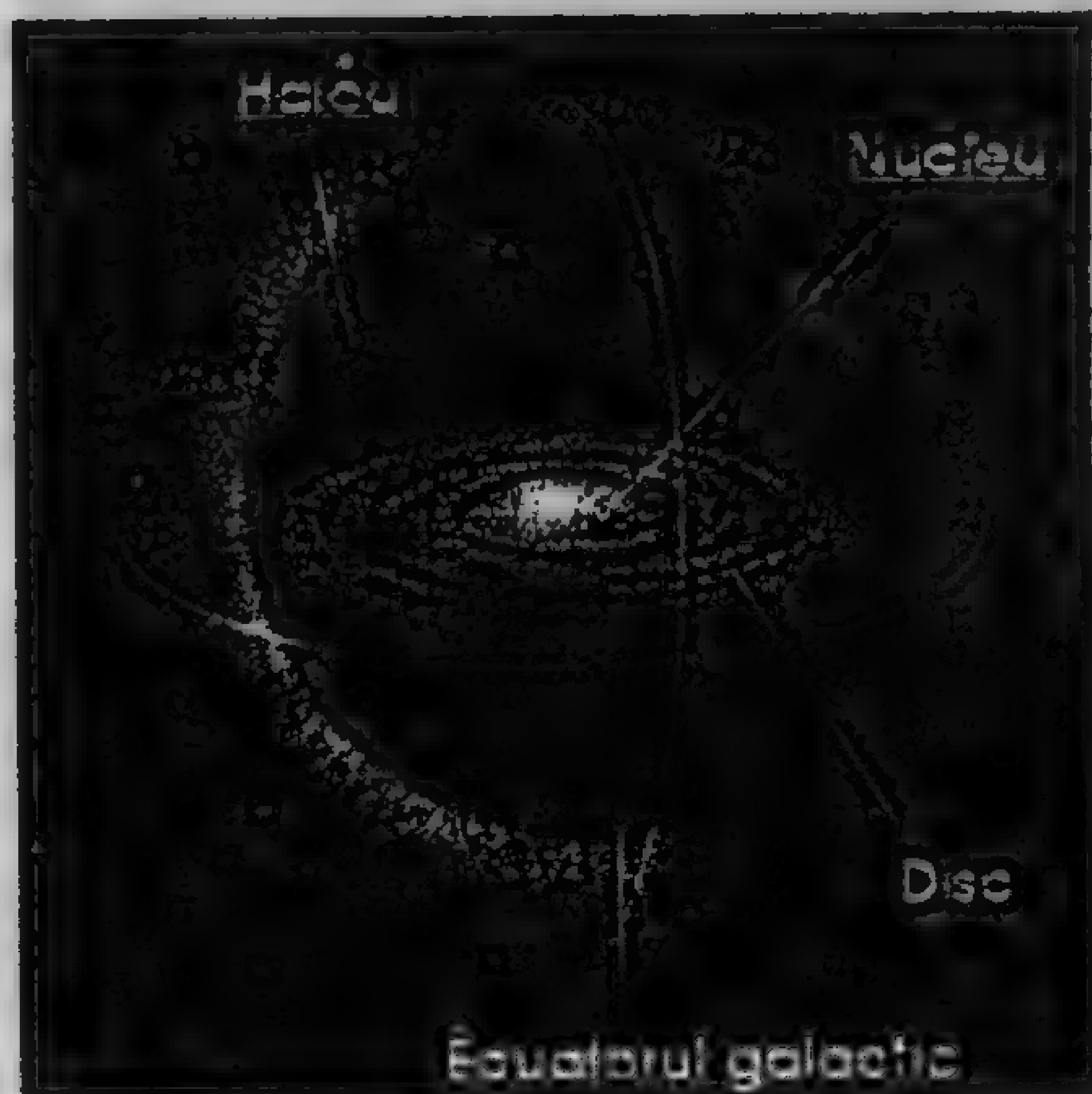
Calea Lactee

Sistemul de stele în care se găseşte Soarele – una dintre cele aproximativ 200 miliarde de stele.



Calea Lactee

Bandă cu o luminozitate redusă şi cu o limită neregulată, care se arculeşte pe bolta cerească în lungul unui uriaş cerc. La observarea cu o lunetă, Calea Lactee se descompune într-o mulţime de stele. Toate obiectele Căii Lactee aparţin sistemului Căii Lactee.



Structura Căii Lactee.
Un nucleu compact este înconjurat de disc. Ambele sunt cuprinse în halou. Întregul sistem este înconjurat de un înveliş bine dezvoltat, format din materie lipsită de luminozitate.

Structura Căii Lactee

Nucleu	Diametru ≈ 5 kpc; radiație intensă radio și infraroșie; nu poate fi pus în evidență optic din cauza norilor întunecați dispuși în jurul său.
Discul (înconjoară nucleul)	Diametru ≈ 30 kpc; grosimea în apropierea nucleului ≈ 5 kpc; grosimea în domeniul marginal ≈ 1 kpc; constă din mai multe brațe spirale, aflate aproximativ în același plan, marcate prin stele fierbinți, nebuloase și materie interstelară. Între brațele galaxiei se află stele cu o luminozitate redusă.
Haloul (înconjoară nucleul și discul)	Aproape sferic; diametrul ≈ 50 kpc; constă în principal din nebuloase sferice și stele variabile de tip RR Lyrae.
Coroana (înconjoară nucleul, discul și haloul)	Materie lipsită de luminozitate; diametru probabil mai mare de 120 kpc.



Vedere laterală a sistemului Căii Lactee



Proiecție orizontală a sistemului Căii Lactee

Structura spirală. De pe Pământ, structura spirală a Căii Lactee poate fi doar într-o mică măsură observată. Cunoștințe esențiale despre structura spirală a sistemului Căii Lactee au fost dobândite în urma observațiilor în domeniul radio.

Până acum, au fost cercetate trei porțiuni de brațe care se află în apropierea Soarelui.

Brațul Sagittarius	În direcția constelației Săgetătorului (lat. Sagittarius); se află între Soare și nucleul sistemului Căii Lactee.
Brațul Orion	La marginea sa se află Soarele, la circa 10 kpc de centrul sistemului Căii Lactee.
Brațul Perseu	Acesta se află la circa 2 kpc în exteriorul brațului Orion.

Distanța medie dintre brațele spiralei este de 1,5 kpc.

Locul Soarelui în sistemul Căii Lactee	
Depărtarea față de centru	aproximativ 8,5 kpc
Depărtarea față de planul Căii Lactee	15 pc spre nord
Direcția de la Soare la centru	spre constelațiile Omul cu șarpele și Săgetătorul
Direcția de la Soare în sens opus centrului	spre constelațiile Vizitiul și Taurul

Date despre sistemul Căii Lactee		
Diametru	Coroană Halou Disc Nucleu	aproximativ 120 kpc aproximativ 50 kpc aproximativ 30 kpc aproximativ 5 kpc
Masa	Stele Materie interstelară	aproximativ 10^{12} mase solare aproximativ 10^{10} mase solare
Densitate medie		aproximativ 0,15 mase solare pe pc^3 ($\approx 10^{-23} g \cdot cm^{-3}$)
Luminozitatea generală		aproximativ $2,5 \cdot 10^{10}$ luminozități solare ($\approx 10^{37}$ W)
Strălucirea absolută		$-20,5^m$

↗ Speculații și prime cercetări asupra structurii sistemului Calea Lactee, p. 175.
↗ Explorarea structurii galaxiei, p. 180.
↗ Densitatea medie, p. 119.
↗ Magnitudine absolută, p. 107.

Roiurile de stele

Aglomerații de stele având aceeași vârstă și același punct de origine în spațiu; pe bolta cerească, în multe cazuri, acestea sunt ușor de recunoscut prin densitatea de stele. Roiurile de stele se află atât în sistemul Căii Lactee, cât și în alte galaxii.

Clasificarea roiurilor de stele:

- asociații de stele;
- roiuri mobile;
- roiuri deschise;
- roiuri globulare.

Asociațiile de stele

Roiuri de stele cu o densitate stelară redusă. Înrudirea dintre stele este probată de concordanța existentă între spectrele astrale. Asociațiile de stele fac parte dintre cele mai tinere obiecte din Calea Lactee.

Tip	Membri	Vârsta
Asociații T	Stele variabile de tip T Tauri	10^5 până la 10^7 ani
Asociații OB	Stele O și B tinere	10^6 până la 10^7 ani

■ Cele trei „stele–cordon" din constelația Orion aparțin unei asociații OB de mari dimensiuni.

Roiurile mobile

Stele a căror înrudire este reflectată de mișcarea comună în spațiu, cu aceeași viteză și în aceeași direcție. Ca urmare a densității stelare reduse, ele nu apar decât în mod excepțional ca roiuri de stele.

■ Stelele roiului Ursa Maior apar, ca urmare a depărtării reduse la care se află, răspândite pe întreaga sferă cerească. Acestui roi îi aparțin 5 stele ale constelației Ursa Mare.

Roiurile deschise

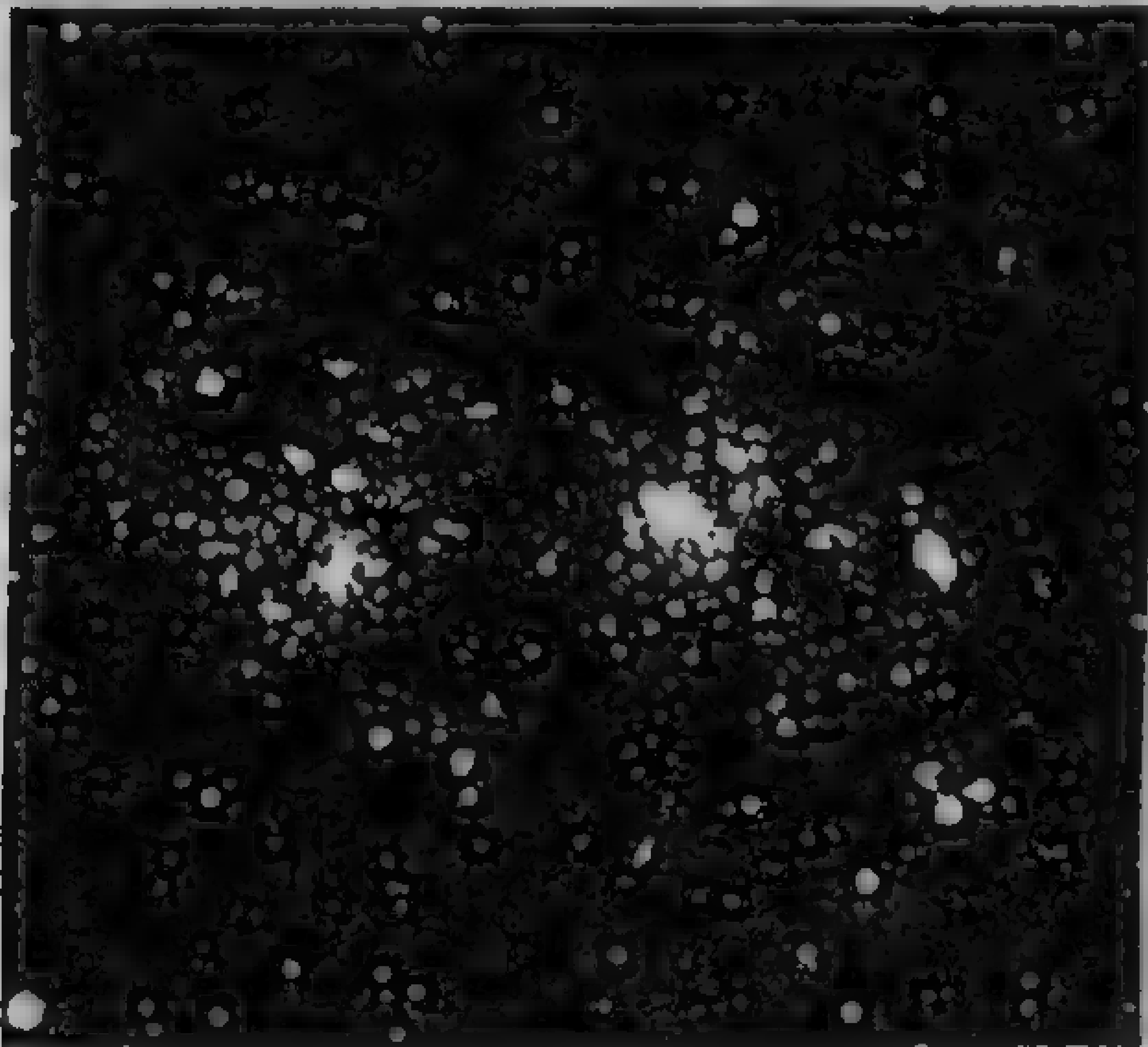
Aglomerări de până la câteva sute de stele de aceeași vârstă. Acestea se remarcă pe sfera cerească printr-o densitate stelară mărită, prezentând însă o concentrație scăzută spre centrul roiului.

Masa	100 până la 1000 de mase solare
Diametrul real	1 pc până la 20 pc
Diametrul aparent	0,5′ până la 1° (excepții: Pleiadele, 1,7°; Hyadele, 7°)
Densitatea stelară spațială	2 până la 500 mase solare pe pc^3
Număr total în sistemul Căii Lactee	aproximativ 18 000 (presupus)

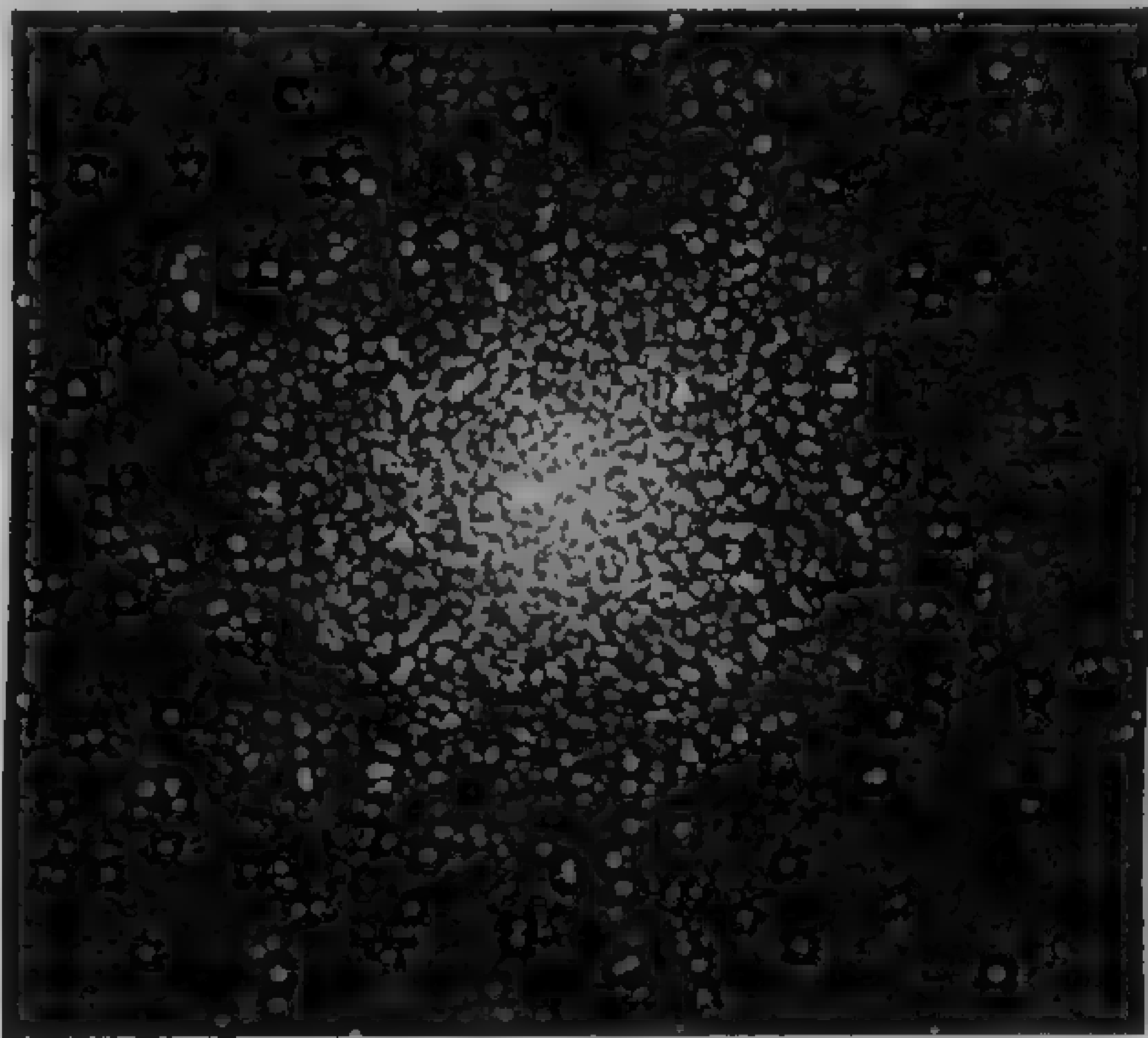
Roiurile deschise se găsesc, aproape fără excepție, foarte aproape de planul central al sistemului Căii Lactee. Ele nu sunt stabile, ci se dezintegrează treptat. Roiurile deschise existente astăzi pot avea în general, o vârstă de numai 10^8 sau 10^9 ani; ele se numără printre cele mai tinere obiecte din sistemul Căii Lactee.

■ Roiuri deschise cunoscute se află în constelațiile Taurului (Pleiadele și Hyadele) și Racului (Praesepe).

↗ Structura Căii Lactee, p. 140.
↗ Vârsta roiurilor de stele, p. 142.



Două roiuri deschise în constelația Perseu



Roi globular în Hercules

Roiurile globulare

Concentrații de 10^5 până la 10^8 stele, care apar pe sfera cerească sub forma unor regiuni cu o densitate stelară foarte mare. Ele sunt sfero-simetrice și sunt puternic concentrate spre centrul roiului.

Diametru real	10 pc până la 200 pc
Diametru aparent	0,4′ până la 25′
Densitate stelară spațială în centru	până la 10^4 mase solare pe pc^3
Număr total în sistemul Căii Lactee	peste 120
Luminozitate	de circa 10^5 ori puterea de iluminare a Soarelui ($4 \cdot 10^{31}$ W)

Roiurile globulare învăluie sub forma unor nori cu formă aproximativ sferică (halou) sistemul Căii Lactee. Ele se numără printre cele mai vechi componente ale sistemului Căii Lactee; vârsta lor se situează între $10 \cdot 10^9$ și $15 \cdot 10^9$ ani.

Și în alte sisteme stelare au fost descoperite roiuri globulare.

- Unul dintre roiurile globulare ce oferă printre cele mai bune condiții de observare cu ochiul liber se află în constelația Hercules.
  ↗ Structura Căii Lactee, p. 140.

Materia interstelară

Materie și câmpuri în spațiul dintre stelele unui sistem stelar. Într-un sens mai restrâns, prin materie interstelară se înțelege o masă de gaz sau de praf cu o densitate și o extindere diferită.
Gazul și praful apar în materia interstelară de cele mai multe ori împreună, praful stelar constituind în medie 1% din masa comună.
Într-un volum de mărimea Pământului este conținut, în medie, doar 1 kg de materie.

- În sistemul Căii Lactee, materia interstelară este dispusă într-un strat de numai 300 pc grosime în câmpul central al discului și concentrată în brațele spirale. Materia interstelară este prezentă și în alte sisteme stelare.
  ↗ Structura sistemului Calea Lactee, p. 140.

Gazul interstelar

Parte a materiei interstelare.

Compoziție	Electroni, ioni, atomi (circa 75% hidrogen, circa 23% heliu), în unele locuri și molecule (printre altele H_2, H_2O, SO_2, CO, HCN, H_2S, C_2H_5OH). Moleculele își au originea în cantitatea redusă de elemente grele. Totuși, ele au o importanță hotărâtoare pentru apariția stelelor și a planetelor.
Densitatea	În regiunile din vecinătatea Soarelui, circa 10^{-24} g · cm^{-3} (în medie o particulă la un cm^3; în norii denși 10^4 particule la un cm^3).
Forme de stare	**Nori difuzi** *Hidrogen neutru.* Viteza medie a particulelor corespunde unei temperaturi de circa 80K; norii au un diametru cuprins între 1 pc și 100 pc. *Hidrogen ionizat.* Temperatura este de 8 000 – 10 000 K. Acești nori ocupă circa 5% din volumul galaxiei Calea Lactee. **Norii moleculari** Înglobează circa 50% din masa materiei interstelare. Ei sunt compuși în special din hidrogen molecular, au un diametru tipic în jur de 40 pc și temperaturi de circa 10K. În afară de hidrogen, au în componență legături ale H, C, N, O, Si, S și alte câteva elemente. Norii moleculari sunt domeniile în care se formează stelele.

	Gazul dintre nori *Gazul neutru.* Norii difuzi și norii moleculari sunt cuprinși într-un gaz difuz, care împiedică expansiunea acestor nori. Gazul dintre nori cuprinde circa 25% din masa materiei interstelare și are o temperatură de 10^3 – 10^4 K. *Gazul ionizat.* În timpul exploziei unei supernove sunt expulzate mari cantități de gaz care, prin impact, ionizează gazul neutru aflat între nori. Gazul ionizat are temperaturi cuprinse între 10^5 și 10^7 K. În apropierea Soarelui, gazul ionizat contribuie cu mai puțin de 1% la masa materiei interstelare.
Aspect	*Optic luminos*, când atomul de gaz, în urma excitării sale de către radiația stelei fierbinți învecinate, emite lumină. S-a observat o *nebuloasă difuză* (numită *nebuloasă de emisie*, întrucât descompunerea luminii sale dă o *linie spectrală de emisie*). *Optic neluminos*, totuși posibil de pus în evidență în spectrele stelelor ce se află în spatele acestora. La punerea în evidență se folosesc radiotelescoapele, întrucât hidrogenul și majoritatea moleculelor emit unde radio.

Praful interstelar

Parte a materiei interstelare.

Compoziție	Încă necunoscută, probabil, în parte, particule de silicați
Densitatea medie	10^{-26} g · cm^{-3}
Dimensiunea medie a particulelor	0,1 μm
Temperatura	10 K până la 20 K
Aspect	*Optic luminos*, când particulele de praf reflectă lumina stelelor din apropiere. S-a observat o *nebuloasă luminoasă* (*nebuloasa de reflexie*); la descompunerea luminii sale se obține spectrul luminii stelare, un *spectru continuu*, cu *linii de absorbție*. *Optic neluminos.* Norii de praf denși și cu o mare extindere absorb atât de mult din lumina stelei aflate în spate, încât ei apar ca nori întunecați. Masele de praf de dimensiuni mai reduse atenuează, disipă și înroșesc lumina ce îi traversează. Poate fi observată radiația infraroșie emisă de masele de praf din jurul unei stele.

Radiația cosmică

Parte a materiei interstelare.

Compoziție	90% protoni, 9% nuclee de heliu, 1% alte nuclee atomice.
Cauze	În parte solară, în parte datorată exploziei unei supernove; în parte posibil din alte sisteme stelare.
[illegible]	O energie a particulelor deosebit de mare (10^3 MeV până la 10^{14} MeV = 10^{-4} J până la 10^7 J pe particulă).
[illegible]	*Radiația primară* (de fapt radiație cosmică) este observabilă doar de dincolo de straturile dense ale atmosferei terestre (de pe sateliți artificiali sau sonde spațiale). În urma impactului dintre o particulă cu o particulă din atmosfera terestră apare *radiația secundară* ce atinge uneori suprafața terestră, putând fi înregistrată aici.

Mișcarea stelelor

Modificarea poziției stelelor în cadrul sistemului Căii Lactee.

[illegible]		
Mișcarea individuală		Mișcare în jurul centrului sistemului Căii Lactee
neregulată	ordonată	

Observarea mișcării stelelor

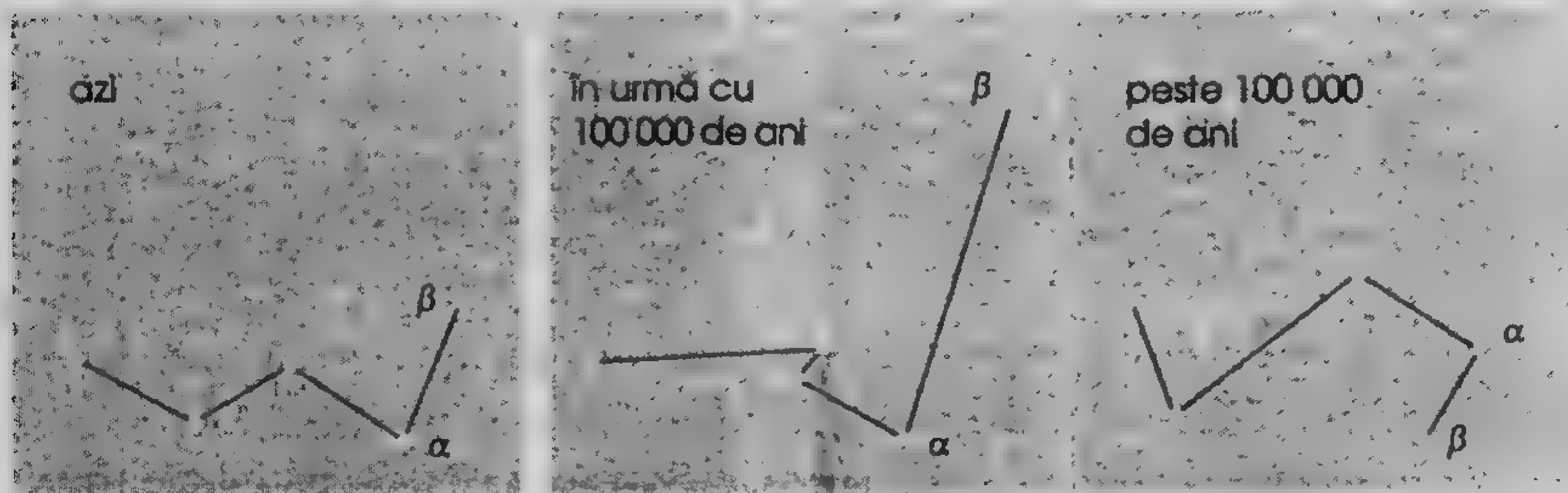
Mișcarea în spațiu nu poate fi măsurată nemijlocit. Poate fi măsurată doar mișcarea proprie și viteza radială.

Mișcarea proprie	Proiecția mișcării spațiale reale pe sfera cerească, observată ca modificare temporală a poziției stelei pe sfera cerească vertical pe direcția de observație; măsurată în secunde de arc pe secol.
Viteza radială	Componenta mișcării spațiale reale ce se desfășoară în direcția de observație; generează o translație a liniilor spectrale în spectrul stelar (*efectul Doppler*). Viteza radială este măsurată în km · s^{-1} (valorile pozitive înseamnă creșterea depărtării față de Pământ, iar valorile negative scăderea acesteia).

■ Mișcarea proprie a Stelei Polare măsoară 4,6'' pe secol, iar viteza sa radială −13 km · s^{-1}.

Mişcarea peculiară este mişcarea unei stele în spaţiu în relaţie cu stelele din proximitatea ei. Vitezele şi direcţiile mişcării peculiare a stelelor sunt clasificate statistic. O excepţie o reprezintă roiurile mobile, în care stelele componente au aceeaşi direcţie de mişcare şi aceeaşi viteză.

↗ Roiurile mobile, p. 142.

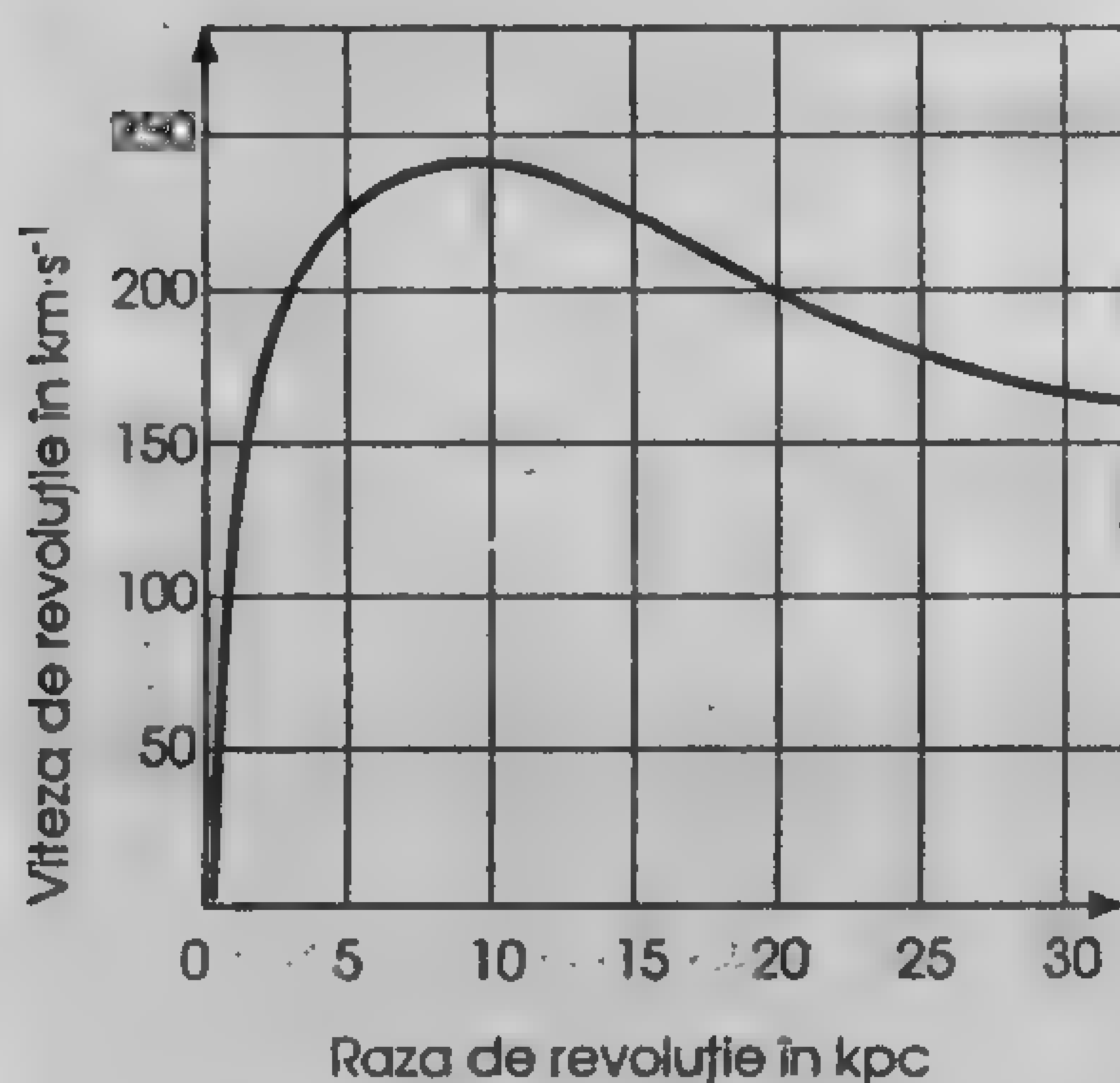


Mişcările proprii ale stelelor din constelaţia Cassiopeea

Rotaţia sistemului Calea Lactee



Rotaţia sistemului Calea Lactee



Viteza de revoluţie în raport cu raza de revoluţie a unei stele din sistemul Calea Lactee. Porţiunea plată a curbei în domeniul de peste 30 kpc este influenţată de marea masă a coroanei întunecate.

Mişcărilor peculiare ale stelelor le este suprapusă o largă mişcare de revoluţie în jurul centrului sistemului Căii Lactee. Stelele descriu orbite aproape eliptice. Nucleul sistemului Căii Lactee se roteşte ca un corp rigid.

- Soarele se roteşte în jurul centrului sistemului Căii Lactee cu o viteză de 220 km $\cdot$ s^{-1}. El are nevoie pentru o rotaţie de circa $2{,}4 \cdot 10^8$ ani.

↗ Structura sistemului Căii Lactee, p. 140.

SISTEME STELARE EXTRAGALACTICE

Galaxiile

Sisteme stelare aflate în exteriorul sistemului Căii Lactee (sistem stelar extragalactic). Galaxiile apropiate şi relativ uşor observabile sunt denumite după constelaţiile cuprinse, pe sfera cerească, între graniţele lor.

Formele cele mai frecvente	Frecvenţa
Sisteme spirale şi pseudospirale	60%
Sisteme eliptice	25%
Sisteme neregulate	4%
Forme speciale	11%

Galaxiile apar în lunetă ca imagini şterse, slab luminoase, cu o structură parţial detectabilă. Ele sunt foarte numeroase; până la strălucirea aparentă de 20^m sunt vizibile pe sfera cerească $2 \cdot 10^6$ galaxii. Pe o bandă lată de $20^0 - 40^0$ în lungul Căii Lactee, acestea sunt acoperite de praful interstelar conţinut în galaxia noastră.

■ Singurul sistem extragalactic vizibil cu ochiul liber din Europa este *nebuloasa Andromeda* (denumirea greşită de „nebuloasă" provine dintr-un timp în care adevărata natură a sistemelor nu era cunoscută încă).

Sistemele spirale

Sisteme stelare, asemănătoare sistemului Căii Lactee, care, la o privire asupra planului discului, prezintă o structură spiralată. Braţele spirale se află într-un strat foarte subţire, plat, în câmpul central al sistemului. Observaţiile radio arată că structurile spirale sunt răspândite până la mari distanţe, dincolo de limita domeniului vizibil prin mijloace optice.

Alcătuirea sistemelor spirale:
- materie interstelară luminoasă;
- stele tinere;
- asociaţii de stele;
- roiuri deschise de stele.

Aceste obiecte au o vârstă mai mică de 10^8 ani. Deşi ele înglobează doar o mică parte a masei totale a sistemului, se remarcă prin puternica lor emisie de lumină.

Multe sisteme spirale sunt, la fel ca sistemul Căii Lactee, înconjurate de un halou de roiuri globulare. În timpul rotaţiei, sistemul stelar atrage după sine şi braţele spirale; domeniile exterioare ale sistemului stelar se rotesc mai lent decât interiorul. Pattern-ul sistemului spiral nu are probabil o structură materială durabilă, ci apare prin propagarea densităţii, care conduce la formarea stelelor din materia interstelară.

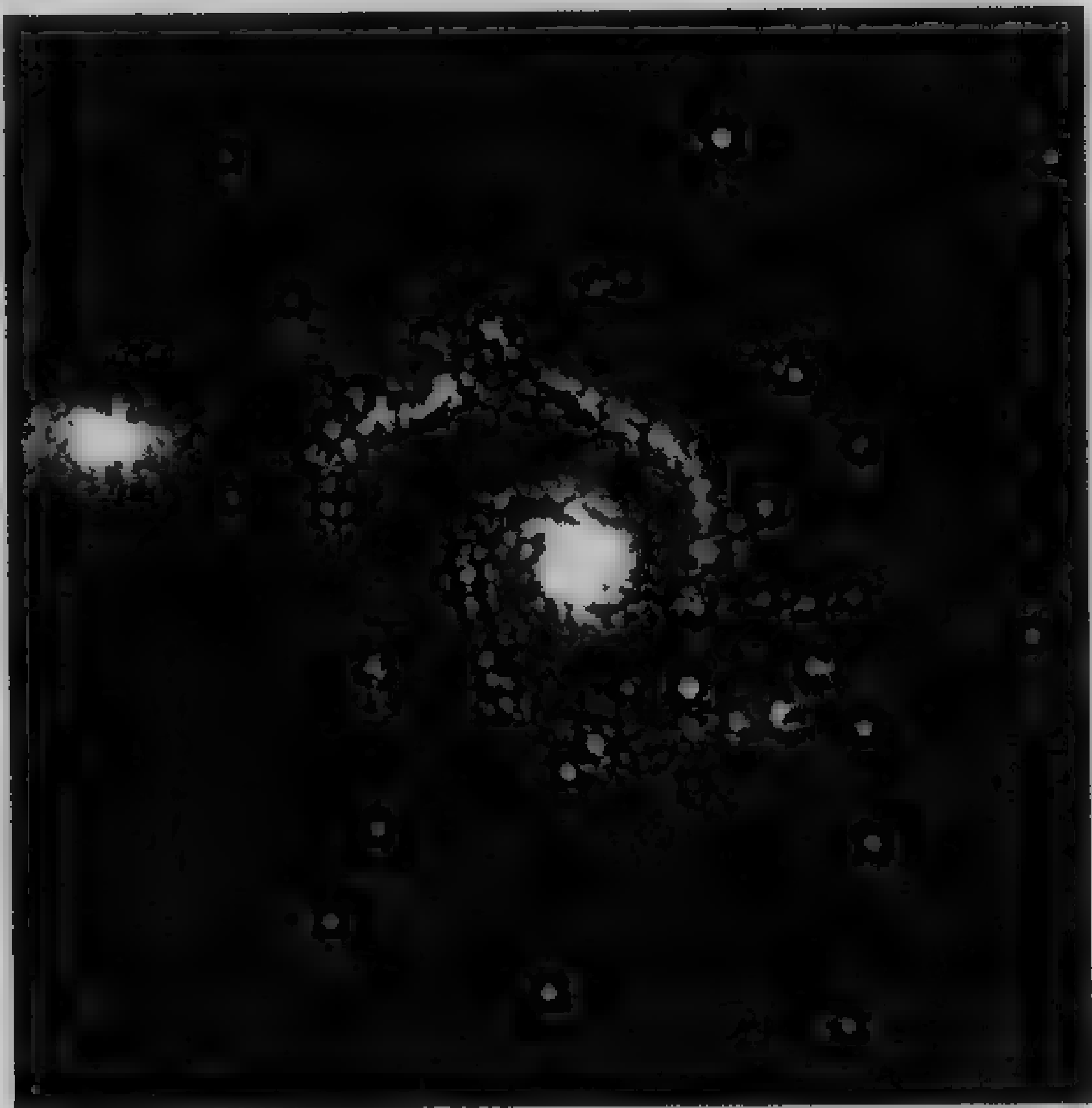
Masa	în medie 10^{12} mase solare
Strălucirea absolută	-18^m până la -21^m
Proporţia de materie interstelară	1% până la 15%

↗ Structura Căii Lactee, p. 140.

Sistemele pseudospirale. Sisteme stelare cu structură spirală, ale căror braţe spirale nu încep din nucleu, ci din zona marginală a nucleului. Braţele sistemului au o lungime de 5 kpc până la 10 kpc.



Sistemul pseudospiral M83



Sistemul spiral M51 (în constelaţia Câinii de Vânătoare)

Sistemele eliptice

Sisteme stelare fără o structură internă observabilă, de cele mai multe ori cu o formă simetrică. Caracteristic este faptul că acestea aproape că nu au în alcătuirea lor materie interstelară şi că stelele fierbinţi O şi B nu există. Galaxiile eliptice au în compoziţie, într-o mare proporţie, stele cu o luminozitate redusă.

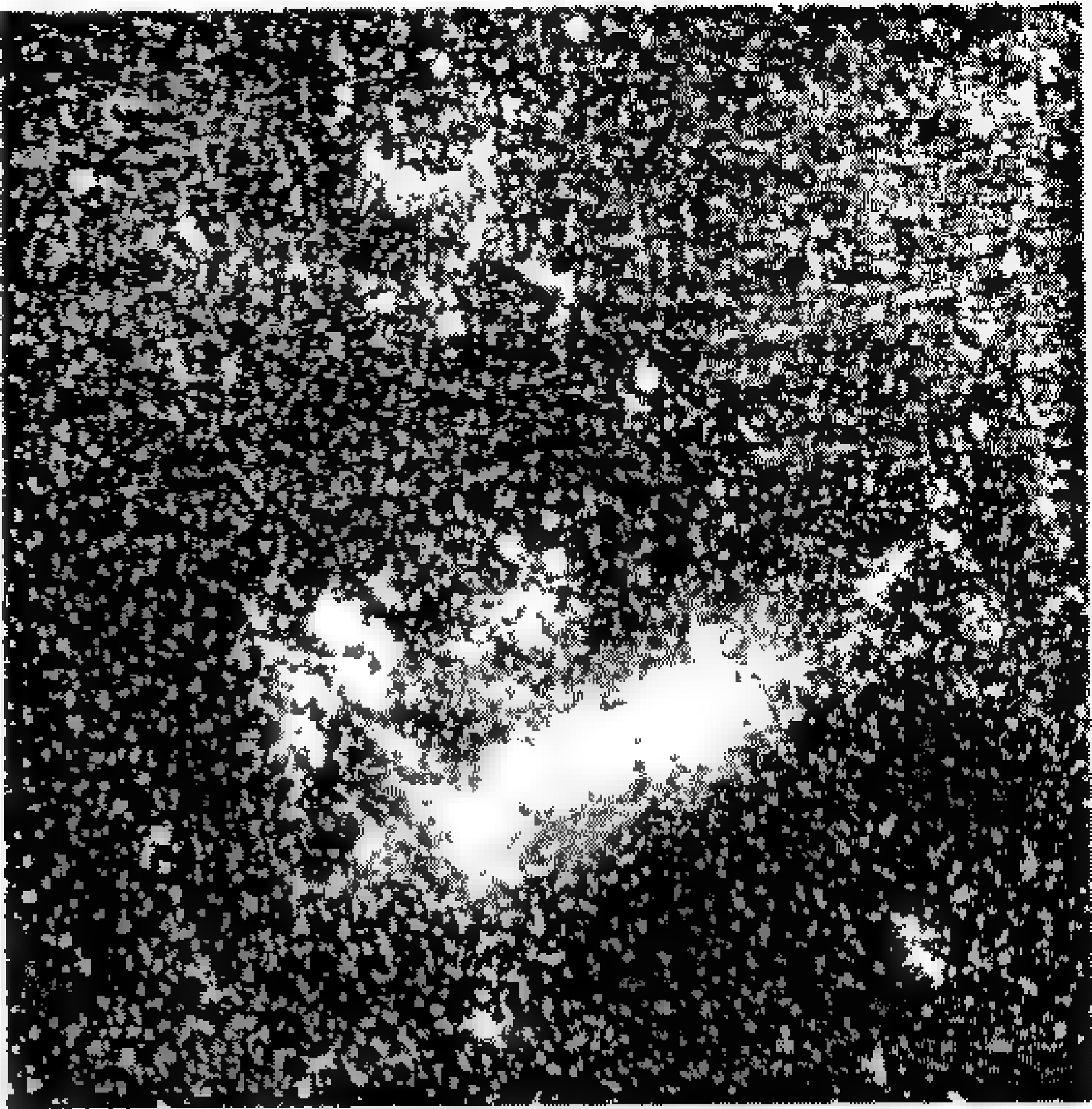
Sisteme eliptice	
Mase	în medie 10^{11} mase solare; în cazul galaxiilor pitice eliptice doar 10^{5} mase solare; în cazul galaxiilor gigantice eliptice până la 10^{13} mase solare
Strălucirea absolută	în cazul galaxiilor pitice eliptice -10^{m}; în cazul galaxiilor gigantice eliptice -22^{m}
Proporţia de materie interstelară	sub 0,01%

În sistemele stelare eliptice nu se formează stele noi.

Sistemele neregulate

Sisteme stelare cu o formă şi o structură haotică, asimetrică, adeseori fără un nucleu observabil. Dintre toate sistemele stelare, sistemele neregulate înglobează cea mai mare parte a materiei interstelare şi numeroase stele tinere. În cadrul acestora are loc o foarte intensă activitate de formare de noi stele.

Sisteme neregulate	
Masă	în medie 10^9 până la 10^{10} mase solare
Strălucire absolută	-15^m până la -19^m
Proporția materiei interstelare	în medie 30%



Galaxie neregulată: Marele nor al lui Magellan

- Cea mai apropiată galaxie neregulată este Marele Nor al lui Magellan, aflat în emisfera cerească sudică. Această galaxie nu este vizibilă din Europa.

Galaxiile active

Sisteme solare care se remarcă prin proprietăți deosebite. În multe cazuri, sunt active în special nucleele acestor sisteme; durata activității este limitată la câteva milioane de ani.

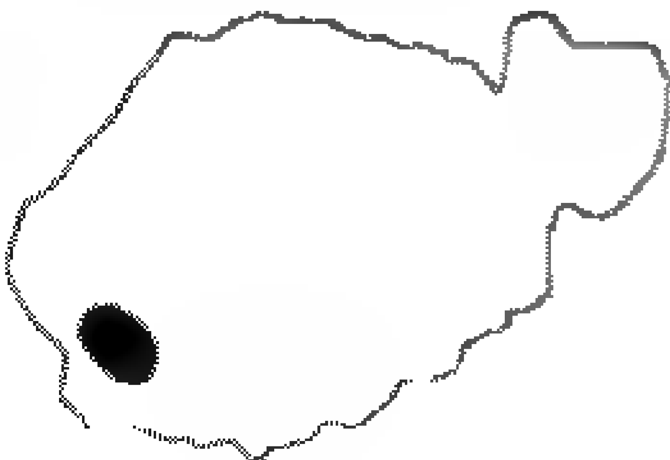
Galaxii active:

- Galaxii cu o emisie radio intensă (radiogalaxii);
- Galaxii cu nuclee active;
- Galaxii cu sectoare proiectate în spațiul înconjurător.

Radiogalaxiile

Sisteme stelare a căror energie este emisă, în cea mai mare parte, sub formă de unde radio. Puterea lor de emisie în domeniul radio o depășește pe aceea a sistemelor stelare obișnuite de până la un milion de ori. Multe dintre radiogalaxii nu pot fi puse în evidență prin mijloace optice, în special din cauza marii lor depărtări față de Pământ. Sursele de emisie ale undelor radio se găsesc și la sistemele ce pot fi puse optic în evidență, de ambele părți ale galaxiei optice; probabil, aceasta este urmarea proceselor de natură explozivă care au loc în nucleul galaxiei.





Radiosursa Cygnus A. Cele două surse se află pe bolta cerească la o depărtare de 2'. Intensitatea culorii corespunde cu intensitatea emisiei

Galaxiile cu nuclee active

Sisteme solare cu nuclee foarte mici, asemănătoare stelelor, în care sunt observate explozii de radiații, modificări ale strălucirii, ca și emisii radio, Roentgen și infraroșii. În spectrele lor apar surprinzătoare linii de emisie. Cauza activității nucleare este încă necunoscută, fiind probabil produsă de implozia maselor (stele, materie interstelară) în găuri negre.

Problemele nerezolvate ale galaxiilor active: sursa uriașei energii, tipul proceselor de transformare energetică, cauza dublei structuri a radiosurselor.

Quasarii

Obiecte cosmice care, la observații optice, apar sub forme stelare, a căror linii spectrale se deplasează puternic spre roșu și care au o puternică emisie radio. Puternica deplasare spre roșu a liniilor spectrale dovedește marea distanță care ne separă de quasari. Unii quasari au o strălucire variabilă.

Quasarii	
Intensitatea radiației	până la de 10^{14} ori intensitatea radiației solare = 10^{40} W
Depărtarea față de Pământ	până la 5000 Mpc

Geneza radiației quasarilor este încă neexplicată, în special datorită mărimii reduse a domeniilor emițătoare de energie (diametrul în general mai mic de 0,1 pc) și a uriașei energii de emisie. Până acum, în afara transformării energiei potențiale în radiație, nu mai este cunoscut nici un proces de eliberare de energie care să explice mulțumitor apariția quasarilor. Probabil, quasarii sunt nuclee active ale galaxiilor.

Mișcările sistemelor stelare

Sistemele stelare se deplasează în spațiu. Există două tipuri de mișcare. La sistemele stelare relativ apropiate, preponderentă este mișcarea neregulată. La sistemele îndepărtate se observă dominația a ceea ce se numește „fuga galaxiilor".

Mișcări ale sistemelor stelare	
neregulate	regulate
Mișcare individuală (mișcare peculiară) Viteza medie este de 200 km · s^{-1}.	*„Fuga galaxiilor"* Viteza crește odată cu distanța

Observarea mișcărilor. Datorită marii depărtări a sistemelor stelare față de Pământ, schimbarea poziției acestora pe bolta cerească este imposibil de observat. De aceea, nu se observă o mișcare proprie, ci, exclusiv, cu ajutorul efectului Doppler, o modificare a liniei vizuale (vitezei radiale) în spectrul sistemelor stelare.

Deplasarea spre roşu a liniilor spectrale dovedeşte că sistemele stelare se îndepărtează de Calea Lactee.

↗ Mişcarea stelelor, p. 146;
↗ Viteza de evadare, p. 58, 158;
↗ Constanta Hubble, p. 158, 181;
↗ Descoperirea expansiunii Universului, p. 180.

Distanţa sistemelor stelare

Distanţa sistemelor stelare faţă de sistemul Căii Lactee se determină prin diverse metode, în funcţie de faptul dacă obiectele individuale din respectivele sisteme sunt observabile sau nu.

Determinarea distanţei sistemelor stelare	
Obiectele individuale sunt observabile	din relaţiile perioadă–strălucire ale stelelor Delta–Cephei, RR–Lyrae şi a altor stele
Obiectele individuale nu sunt observabile	din luminozitatea aparentă şi absolută a întregului sistem stelar (luminozitatea absolută derivă din investigaţii speciale), din deplasarea spre roşu a liniilor spectrale: $r = \frac{v}{H}$ v – viteza de evadare H – constanta Hubble

- Nebuloasa Andromeda se află la o distanţă de $7 \cdot 10^5$ pc; cele mai îndepărtare sisteme stelare observabile cu telescoapele actuale se află la circa $5 \cdot 10^9$ pc distanţă de sistemul Căii Lactee.

- Sistemele stelare se află, în medie, la o distanţă de $3 \cdot 10^6$ pc unul de altul; această valoare este de 150 de ori mai mare decât diametrul unui sistem stelar mediu.

↗ Mişcările sistemelor stelare, p. 151;
↗ Viteza de evadare, p. 58, 158;
↗ Constanta Hubble, p. 158, 181.

Roiurile de galaxii

Aglomeraţii de sisteme stelare într-un volum limitat. Probabil, toate sistemele stelare sunt componente ale unor roiuri de galaxii.

[illegible]	
Diametru	în medie 1 Mpc
Numărul de sisteme stelare dintr-un roi	10 până la 10 000
Densitatea spaţială a sistemelor dintr-un roi	până la valori de 10^4 ori mai mari decât în cazul sistemelor stelare de sine stătătoare

[illegible]	
roiuri regulate	sferico–simetrice, cu o concentrare a materiei în zona centrală (la fel ca în cazul roiurilor globulare); conțin în special sisteme stelare eliptice.
roiuri neregulate	fără simetrie și fără o concentrare a materiei în zona centrală (la fel ca în cazul roiurilor deschise); conțin sisteme stelare de toate tipurile.



Roiuri de galaxii

Multe roiuri de galaxii emit unde radio sau Roentgen. Marea densitate spațială a sistemelor stelare în roiurile de galaxii poate provoca ciocnirea acestora. Aceasta ar putea să explice apariția sistemelor stelare eliptice în roiurile regulate, întrucât, în urma coliziunii, materia interstelară din sistemele stelare participante este îndepărtată.
Roiurile de galaxii sunt denumite după constelațiile în ale căror granițe sunt observate pe bolta cerească.

- Roiul Virgo, în constelația Fecioara (lat. Virgo).

- Sistemul Căii Lactee aparține, împreună cu mai mult de 20 de alte sisteme stelare (între care nebuloasa Andromeda și ambii Nori ai lui Magellan), unui mic roi de galaxii, denumit *Grupa Locală.*

Superroiurile de galaxii

Aglomerări de roiuri de galaxii sub formă de lanțuri sau de discuri care ocupă mari spații goale. Partea observabilă a Cosmosului are astfel structura de tip țesut sau spumă, în care superroiurile se constituie în părți ale pereților, respectiv ale nucleelor.
Superroiurile sunt cele mai mari dintre structurile cunoscute ale Cosmosului.

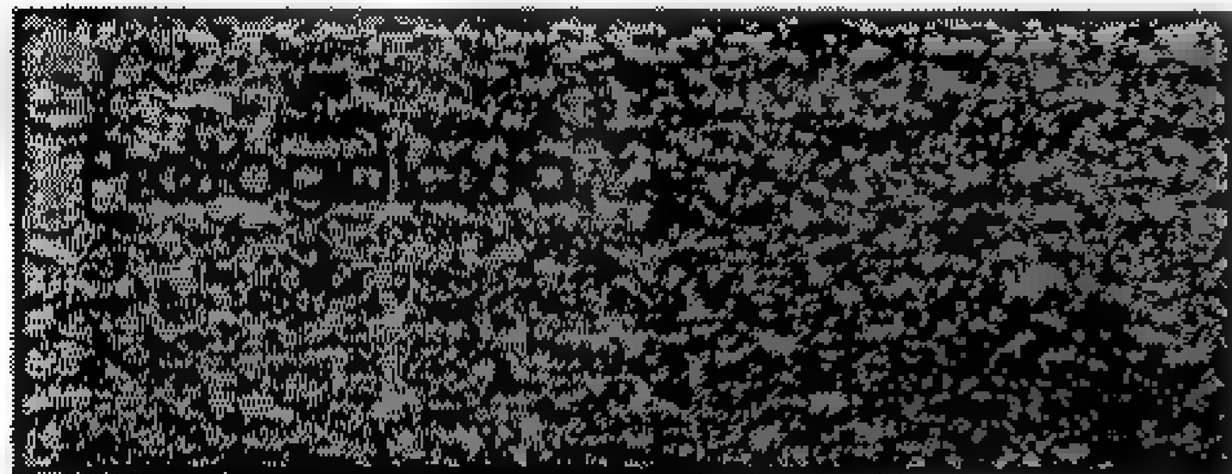
[illegible]	
Diametru	50 Mpc până la 100 Mpc
Masa	până la 10^{16} mase solare

Materia intergalactică

Materia aflată în spațiul dintre galaxiile unui roi de galaxii; probabil plasmă fierbinte (10^8 K), care este comprimată prin forțele gravitaționale. Praful intergalactic nu a putut fi până acum dovedit.

Apariția sistemelor stelare

Apariția sistemelor stelare este strâns legată de istoria Cosmosului. Cât timp Cosmosul nu a fost răcit prin expansiune sub 10^4K, apariția sistemelor stelare nu a fost posibilă. Formarea unui sistem stelar a început probabil cu o neomogenitate într-un Univers omogen aflat în expansiune.



nori de hidrogen şi heliu;
temperatură presupusă: câteva mii K;
densitate presupusă: în medie 10^{-21} g · cm^{-3}.

Protogalaxia s-a contractat sub influența forței gravitaționale, apărând astfel primele stele (în roiuri globulare sau ca stele individuale). Contracția mai rapidă în domeniile centrale a condus la formarea nucleului.
Influențele primite din partea protogalaxiilor vecine au dus la apariția rotației şi a turbulențelor.

Apariția unui sistem spiral. Ca urmare a rotației, materia încă neaglomerată în stele s-a aplatizat, ajungându-se la formarea discului, căruia procesele ulterioare i-au dat structura actuală. În disc au apărut unde de densitate care au dus la formarea de sisteme spirale.

Apariția unui sistem eliptic. Formarea de stele într-un ritm rapid în condițiile unei rotații cu viteză redusă a avut drept consecință acumularea întregului material în stele. Totalitatea acestor stele s-au dispus în spațiu simetric, înainte ca aplatizarea să fi putut influența esențial sistemul.

Evoluții ulterioare ale sistemelor stelare

Procese fundamentale în timpul evoluției unui sistem stelar:

- formarea stelelor din materie interstelară;
- întoarcerea unei părți din materia stelară, în urma proceselor de fuziune nucleară, în spațiul interstelar;
- mişcarea stelelor în sistemul stelar.

Structura şi evoluţia Cosmosului

Cosmologia

Ştiinţa Universului ca întreg, a structurii sale spaţiale şi a evoluţiei sale temporale. Observaţiei astronomice îi este accesibilă doar o parte a Universului. De aceea este dificil să se tragă concluzii asupra spaţiului şi timpului în întregul Univers. Alături de observaţii, legile fizicii, în special fizica particulelor elementare, formează un important fundament ştiinţific pentru preceptele cosmologiei.

Principiul cosmologic

Toate modelele esenţiale de reprezentare a structurii şi evoluţiei Universului se bazează pe următoarele ipoteze de bază:

> Universul este umplut uniform cu materie în toate direcţiile şi în toate punctele.
> - Nici un punct nu se deosebeşte faţă de alt punct (omogenitate).
> - Nici o direcţie nu se deosebeşte de altă direcţie (izotropie).
>
> În Univers nu există nici o poziţie privilegiată şi nici un punct central.

Principiul cosmologic implică şi faptul că în întregul Univers există acelaşi tip de materie şi de structuri materiale (inclusiv radiaţie) şi acţionează aceleaşi legi fizice.
Observaţiile făcute asupra galaxiilor şi a şirurilor de galaxii în domenii restrânse dovedesc că distribuţia lor nu este omogenă. În general, totuşi, se susţine că în domenii suficient de mari stăpânesc omogenitatea şi izotropia. Există însă şi teorii care postulează faptul că Universul nu este omogen, ci, mai degrabă, „bolovănos".

↗ Ierarhia Cosmosului, p. 155.

STRUCTURA COSMOSULUI

Ierarhia Cosmosului

Concepţii asupra structurilor spaţiale subordonate ale Cosmosului, în formă de galaxii, şiruri de galaxii, superroiuri şi eventuale super–superroiuri, care se sprijină pe observaţii astronomice. În fiecare dintre structurile subordonate, densitatea materiei este mai mică. Astfel, spre exemplu, într-un superroi, densitatea este mai redusă decât într-un roi de galaxii. Superroiurile există în Univers sub formă de lanţuri sau au o formă aplatizată.
Acolo unde mai multe lanţuri se ciocnesc se află cel mai mare număr de roiuri de galaxii. Astfel, Universul observabil are o structură celulară sau asemănătoare spumei, în care superroiurile sunt ţesutul, respectiv pereţii. Distanţa dintre superroiuri reprezintă diametrul celulei şi, prin urmare, cea mai mare structură în ierarhia Cosmosului.

String–urile. Fire sau benzi de energie, presupus infinite, extraordinar de lungi, cu o masă extrem de mare şi foarte subţiri, care par să fi determinat apariţia şi repartizarea în spaţiu a galaxiilor.

- Galaxia noastră face parte dintr-un roi mai mic de galaxii, denumit Grupa Locală, căruia îi aparţin circa 20 de galaxii. Acest roi de galaxii este parte componentă a unui superroi, al cărui centru se află în direcţia roiului Virgo. Într-un volum sferic (R = 40 Mpc) de circa 10^{25} ani lumină cubici sunt cuprinse 10^6 galaxii → o galaxie în 10^{19} (a.l.)^3.

„Marele Zid". Probabil aceasta este cea mai mare concentraţie de materie cunoscută până acum în Univers. Într-un volum de 1,5 x 10^{24} (a.l.)^3 sunt conţinute 2... 10^3 galaxii → o galaxie în aproximativ 10^{21} (a.l.)^3.

Geometria spaţiului cosmic

Teoria câmpului cuantic şi teoria generală a relativităţii (TRG) constituie bazele reprezentării moderne ale spaţiului. Conform TRG, geometria spaţiului este determinată de gravitaţia masei conţinute. Ca urmare a acţiunii gravitaţionale a întregii materii cuprinse în Cosmos, Universul este puternic curbat. Întrucât Universul se află în expansiune, curbarea spaţială se modifică odată cu trecerea timpului.

După modul de curbare, se face diferenţa între spaţii euclidiene şi spaţii neeucledlene.

Curburi posibile ale spaţiului

Euclidiană	Curbură 0	Universul este un spaţiu infinit şi deschis.	α γ β
Sferică	Curbură pozitivă	Universul este un spaţiu finit şi închis. El are o masă şi o rază finită.	α γ β
Hiperbolică	Curbură negativă	Universul este un spaţiu infinit şi deschis.	α γ β

Spaţiile euclidiene corespund reprezentărilor de zi cu zi. Spaţiile neeuclidiene se sustrag lumii reprezentărilor noastre. Aici sunt de ajutor reprezentări analogice.

- Analogul bidimensional al unui spaţiu curbat sferic ar fi o suprafaţă sferică. Aceasta este „infinită", adică fără limite, dar nu este infinit de mare. Ea are o suprafaţă finită. În deplasarea rectilinie pe o astfel de suprafaţă sferică, se ajunge întotdeauna în punctul de plecare. Dacă Universul ar avea geometria sus-amintită, privirea panoramică a unui observator nu ar fi astăzi posibilă, întrucât Universul se dilată mai încet decât poate să „călătorească" lumina.

Determinarea valorii curburii spaţiului

Curbarea spaţiului nu este direct observabilă. Pe baza principiului cosmologic, ea este determinată cu ajutorul densităţii medii a materiei şi a constantei Hubble.

Raza de curbură sau raza Universului (*R*). Raza spaţiului curbat tridimensional. Ca urmare a expansiunii, raza se modifică în timp (univers spaţiu – timp).

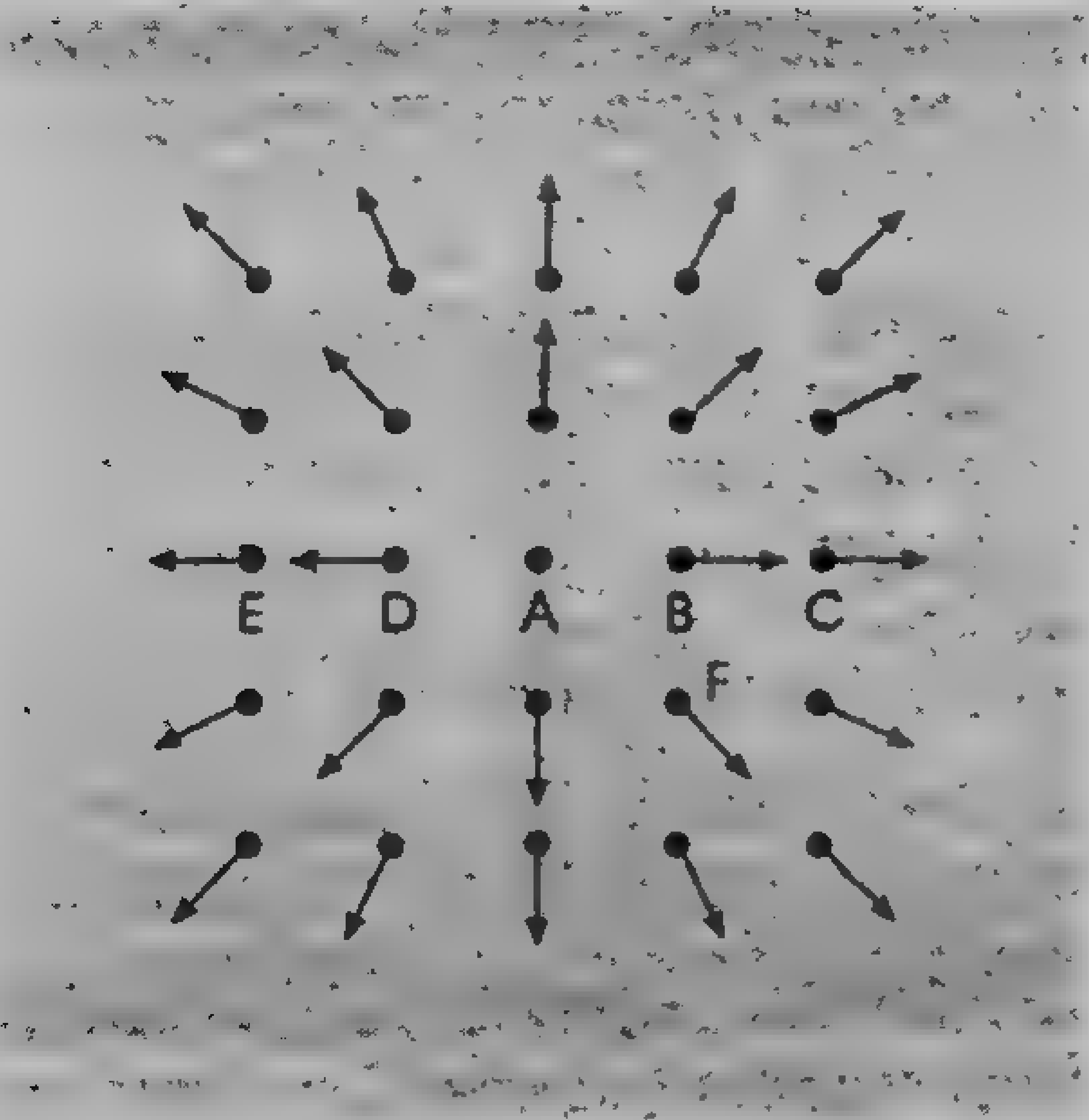
Densitatea critică a materiei. Valoare a densităţii materiei în Cosmos care determină direcţia de expansiune.
După ideile actuale, valoarea densităţii critice a materiei este de circa $4{,}7 \cdot 10^{-30}$ g $\cdot$ cm^{-3}. Dacă valoarea densităţii reale a materiei este mai mică, Universul se dilată nelimitat. Dacă aceasta este mai mare, după un timp finit survine o contracţie a Universului. Observaţiile asupra materiei vizibile relevă faptul că densitatea masei este mai mică decât densitatea critică. Astronomii susţin totuşi că Universul conţine o mare masă de materie invizibilă, ceea ce este atestat şi de măsurătorile făcute din sateliţi. Această materie ar putea ridica densitatea materiei peste valoarea critică. În acest caz, atracţia generală a maselor ar frâna expansiunea, ar provoca un moment de repaus, după care ar antrena contracţia Universului.

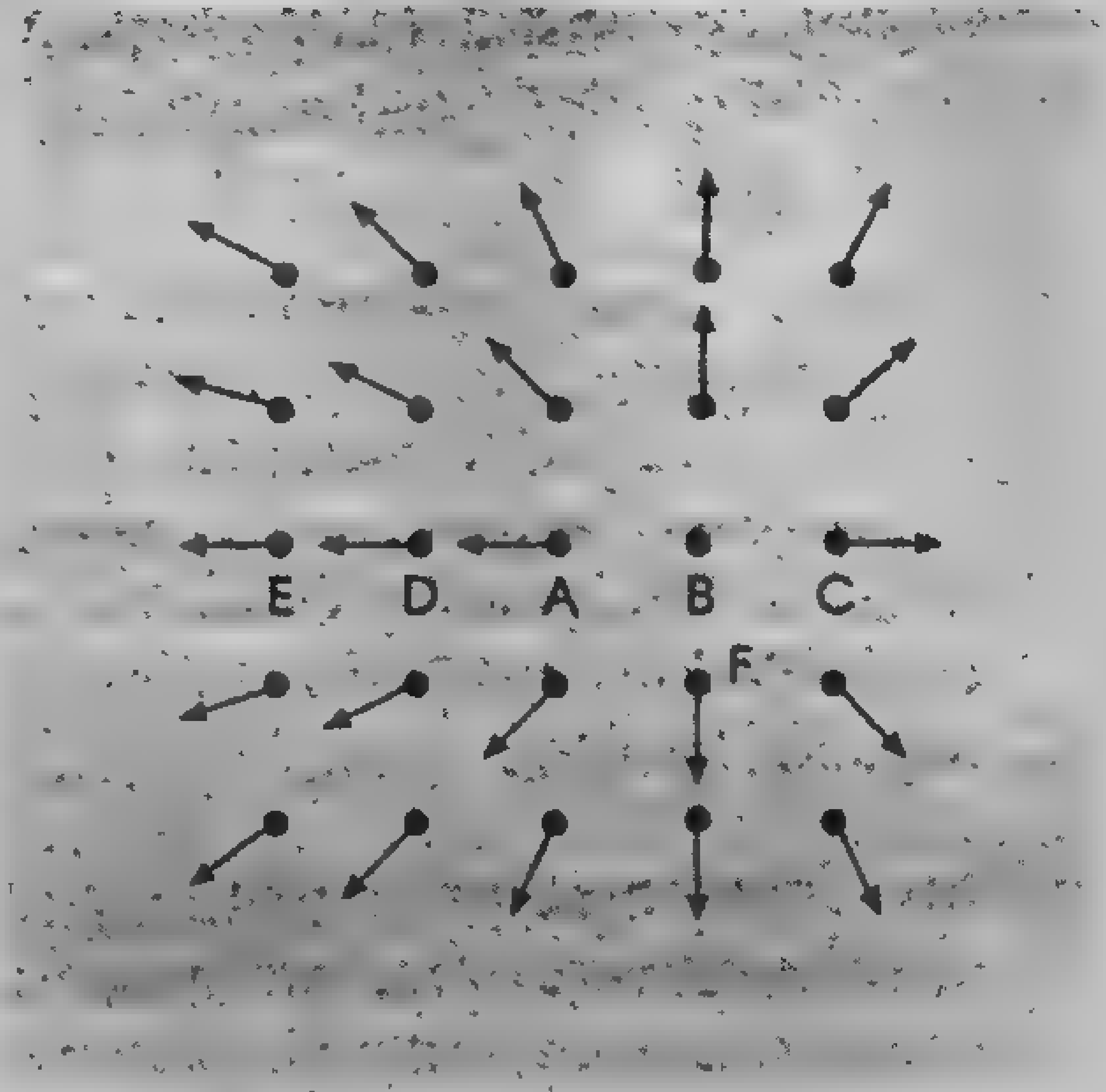
↗ Expansiunea Universului, p. 157, 180; ↗ Modele ale Universului, p. 159.
↗ Principiul cosmologic, p. 155; ↗ Constanta Hubble, p. 158.

Expansiunea Universului

Deplasarea spre domeniul roşu al spectrului optic la galaxiile îndepărtate este desemnată, pe baza efectului Doppler, ca fuga galaxiilor. Acest fenomen nu are nimic de-a face cu o mişcare a galaxiilor, mărirea distanţei la care se află galaxiile fiind produsă de expansiunea spaţiului. Faptul că toate sistemele stelare se îndepărtează de noi nu înseamnă că galaxia noastră este centrul expansiunii. În orice alt sistem stelar, un observator ar surprinde acelaşi fenomen. Ideea conform căreia în Univers nu există nici un punct ieşit din comun prin anumite proprietăţi, ceea ce înseamnă că nu există un observator ieşit din comun, poartă numele de *postulatul Universului.*

↗Descoperirea expansiunii Universului, p. 181.

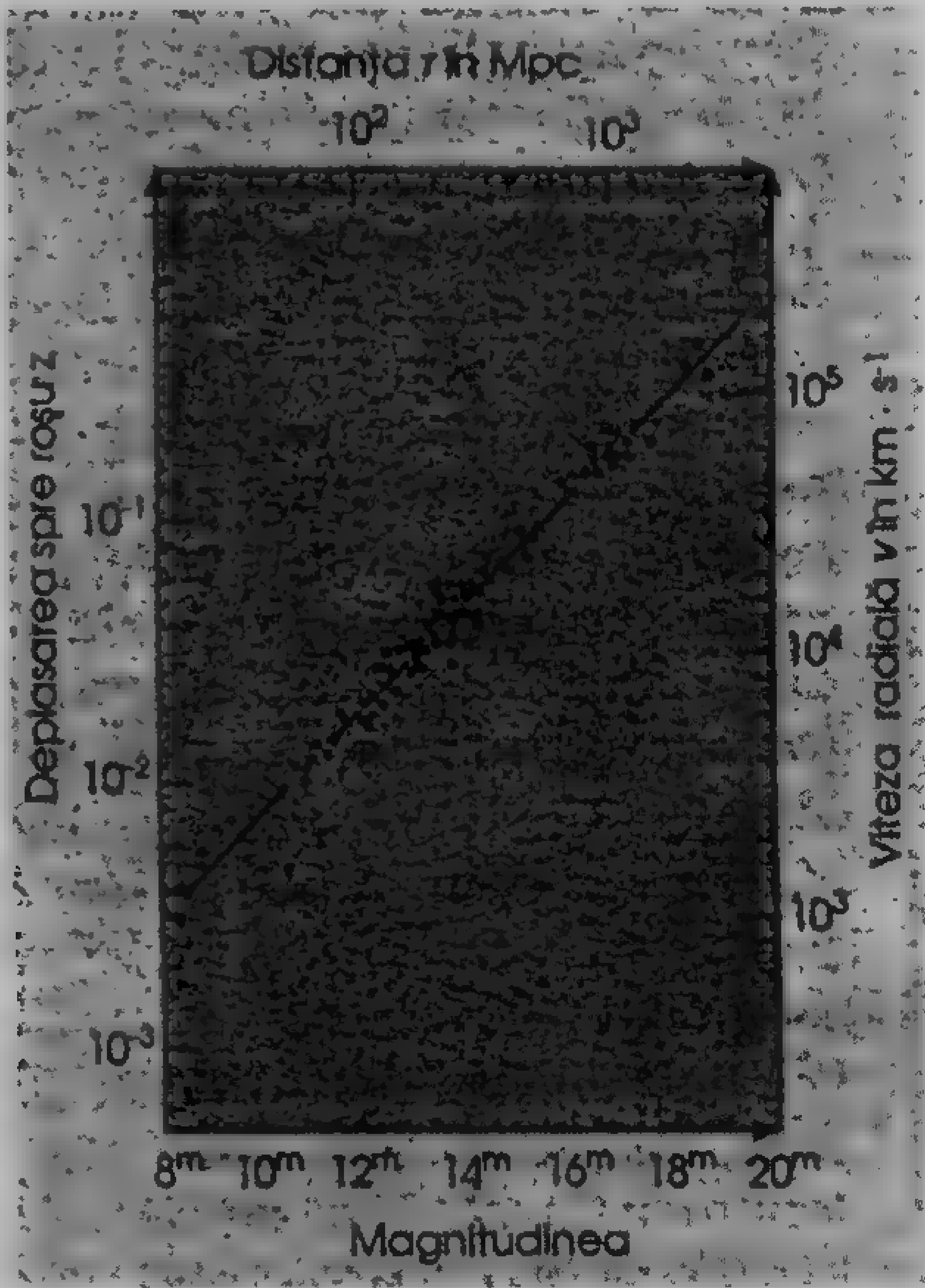




Observarea expansiunii din două galaxii diferite (în stânga observatorul A, în dreapta observatorul B)

Viteza de evadare (viteza radială)

Viteza cu care galaxiile se îndepărtează radial de sistemul Căii Lactee. Valoarea vitezei radiale este dependentă de depărtarea galaxiilor.



Relația dintre magnitudinea aparentă și deplasarea spre roșu, ca și dintre depărtarea și viteza radială pentru cele mai luminoase sisteme stelare ale unor galaxii

Constanta Hubble H_0

Raportul dintre viteza radială și distanța până la galaxii, descoperită de Hubble, este denumit constanta Hubble. Unitatea sa de măsură este kilometrul pe secundă pe megaparsec. Întrucât astronomii determină tot mai exact distanța până la galaxii, se modifică și valoarea constantei Hubble.

Anul	H_o în km · s^{-1} · Mpc^{-1}
1929	530
1950	180
1958	75
1975	60

Astăzi, valoarea sa este apreciată a fi între 40 şi 100 km · s^{-1} · Mpc^{-1}. În calcule, de cele mai multe ori, se foloseşte valoarea H_o = 55 km · s^{-1} · Mpc^{-1}.
Cu ajutorul constantei Hubble se calculează viteza radială după cum urmează:

$v = H_o \cdot r$	v – viteza radială a sistemului stelar în km · s^{-1} H_o – constanta Hubble în km · s^{-1} · Mpc^{-1} r – depărtarea sistemului în Mpc

■ Un sistem stelar, aflat la o distanţa de 10 Mpc de sistemul Căii Lactee, are o viteză radială de 550 km · s^{-1}. La o distanţă de 2 500 Mpc, viteza sa radială este de 138 000 km · s^{-1}. Cele mai mari viteze radiale calculate pentru obiectele cosmice sunt de circa 270 000 km · s^{-1}.

Orizontul Universului

Limita Universului observabil în prezent. Ea se află la o distanţă de 15... 20 · 10^9 a.l.. Întrucât lumina are o viteză finită, timpul său de evoluţie este cu atât mai lung, cu cât galaxia se află mai departe de observatorul terestru. Noi primim informaţia despre obiectele aflate la o distanţă de până la 15... 20 · 10^9 a.l. Procesele şi zonele situate dincolo de orizontul Universului sunt, în mod fundamental, neobservabile de pe Pământ.

■ Lumina galaxiei Andromeda ajunge la noi după circa două milioane de ani. Noi observăm obiectul în starea care îi era caracteristică cu circa 2 milioane de ani în urmă.

↗ Vârsta Universului, p. 160.

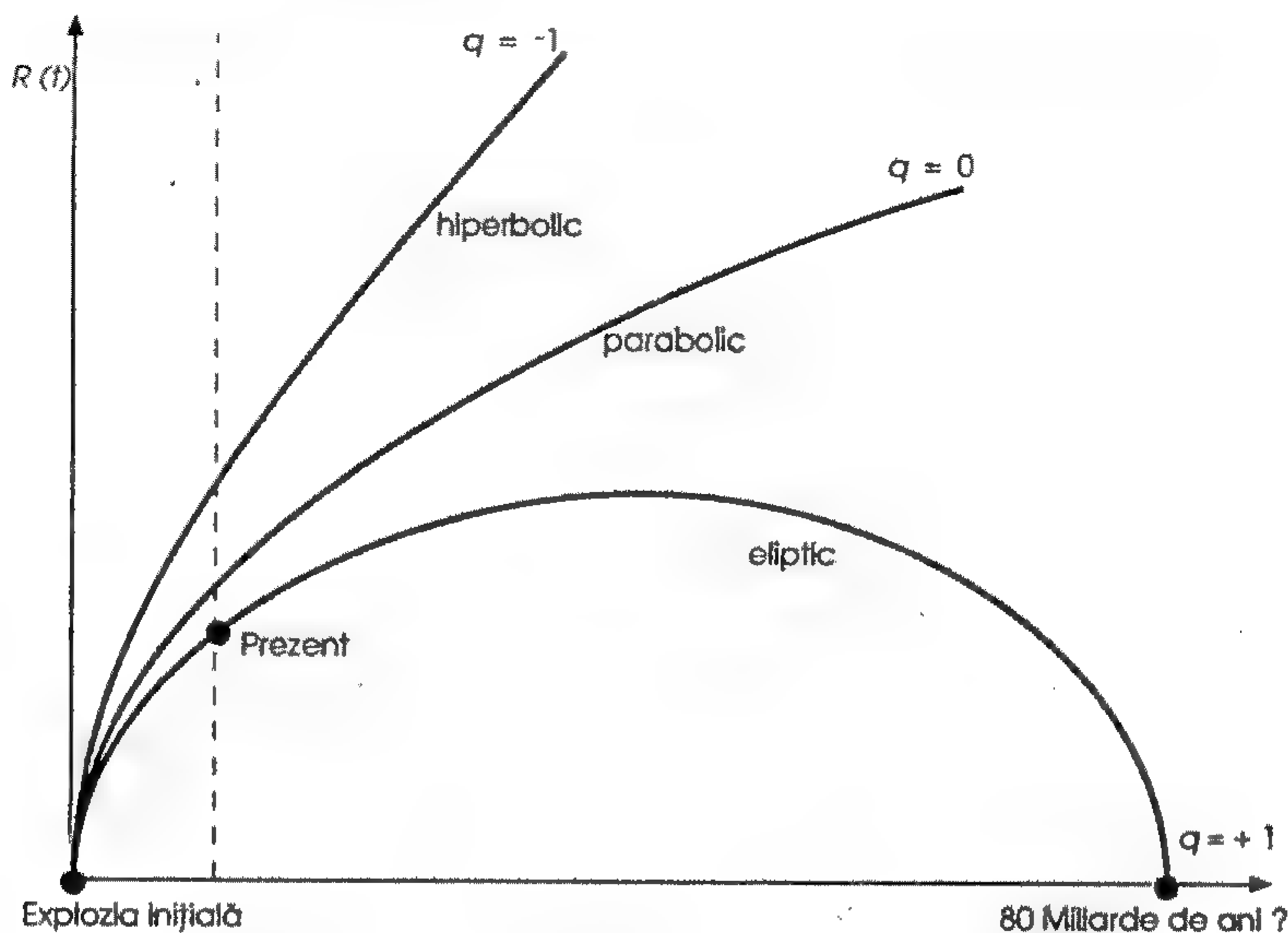
Modelele Universului

Reprezentări ideale care descriu Cosmosul în timp şi spaţiu. Dacă modelele Universului reflectă corect realitatea, pot decide doar observaţiile. Cu siguranţă, modelele universale elaborate nu se pot extinde asupra întregului Univers. Modelele moderne ale Universului se bazează pe principiul cosmologic al spaţiilor curbate, care au o extindere finită sau infinită şi care au un caracter dinamic.

Modelul Friedmann. Modelul matematic al unui Univers dinamic, elaborat de A. Friedmann. Reproducerea de la pagina 160 arată că Universul, în momentul începerii expansiunii, are o mică rază de curbură (R). Materia şi radiaţia, ce se concentrează într-un mic volum, cu o mare densitate, cunosc o expansiune caracterizată printr-o mare viteză. Odată cu creşterea razei de curbură (R), ca urmare a atracţiilor reciproce dintre mase, viteza de

expansiune descreşte. Această descreştere a vitezei se manifestă cel mai puţin în expansiunea modelelor cu spaţii hiperbolice, iar cel mai puternic în expansiunea modelelor cu spaţii eliptice.

↗ Expansiunea Universului, p. 157; ↗ Principiul cosmologic, p. 155.
↗ Geometria spaţiului cosmic, p. 156.



Modelul Friedmann al unui Cosmos dinamic. R = raza de curbură; t = vârsta Universului; q = modificări în timp ale razei de curbură.

EVOLUŢIA UNIVERSULUI

Din determinarea vitezei de expansiune, a desfăşurării expansiunii şi cu ajutorul cunoştinţelor de fizică particulelor elementare, se pot face speculaţii asupra evoluţiei stării actuale a Universului.

Vârsta Universului (*t*)

Vârsta presupusă a stării actuale a universului, estimată pe baza calculelor şi a observaţiilor, cu ajutorul constantei Hubble, a studiului atmosferelor stelare şi a evoluţiei stelelor, ca şi cu ajutorul cunoştinţelor despre descompunerea radioactivă a elementelor grele. Valoarea oscilează între $10 \cdot 10^9$ şi peste $20 \cdot 10^9$ ani.

↗ Constanta Hubble, p. 158; ↗ Compoziţia chimică a stelelor, p. 123; ↗ Evoluţia stelelor, p. 134, 179.

Determinarea vârstei proceselor cosmice

Metode care permit aruncarea unei priviri în spaţiul temporal al proceselor cosmice.

Scara timpului	Metode de determinare a valorii
Vârsta expansiunii Universului	Determinarea cu ajutorul valorii constantei Hubble, la viteze de expansiune presupus constante[1] (H_0 = 55 km · s^{-1} · Mpc^{-1}) $t = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{55\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Mpc}^{-1}} = 18 \cdot 10^9$ ani (Timpul Hubble T_H)
Vârsta apariţiei elementelor grele (mai grele decât H, He)	Determinarea tipului de descompunere radioactivă la elementele grele; valoare: 7 · 10^9 ani
Vârsta stelelor	Determinarea din valorile cunoscute ale strălucirii şi masei unei stele; Valoarea: 15 · 10^9 ani pentru cea mai veche stea

[1] La o expansiune încetinită, vârsta Universului va fi mai mică, iar la o expansiune accelerată – mai mare.

↗ Expansiunea Universului, p. 157.
↗ Viteza de evadare, p. 158.
↗ Constanta Hubble, p. 158.

Explozia iniţială

Reprezentare promovată de mulţi oameni de ştiinţă a unui început exploziv al expansiunii, numit şi „big bang". În momentul exploziei şi imediat după aceea, materia cosmică se afla sub condiţii fizice extreme, ce nu au fost încă elucidate cu ajutorul legilor cunoscute ale naturii.
Se susţine că explozia iniţială a fost declanşată prin acţiunea comună a interacţiunilor electromagnetice, slabe sau puternice, prin includerea gravitaţiei (teoria uniformizării GUT). Expansiunea Universului şi radiaţia 3K sunt puternice argumente pentru teoria exploziei iniţiale.

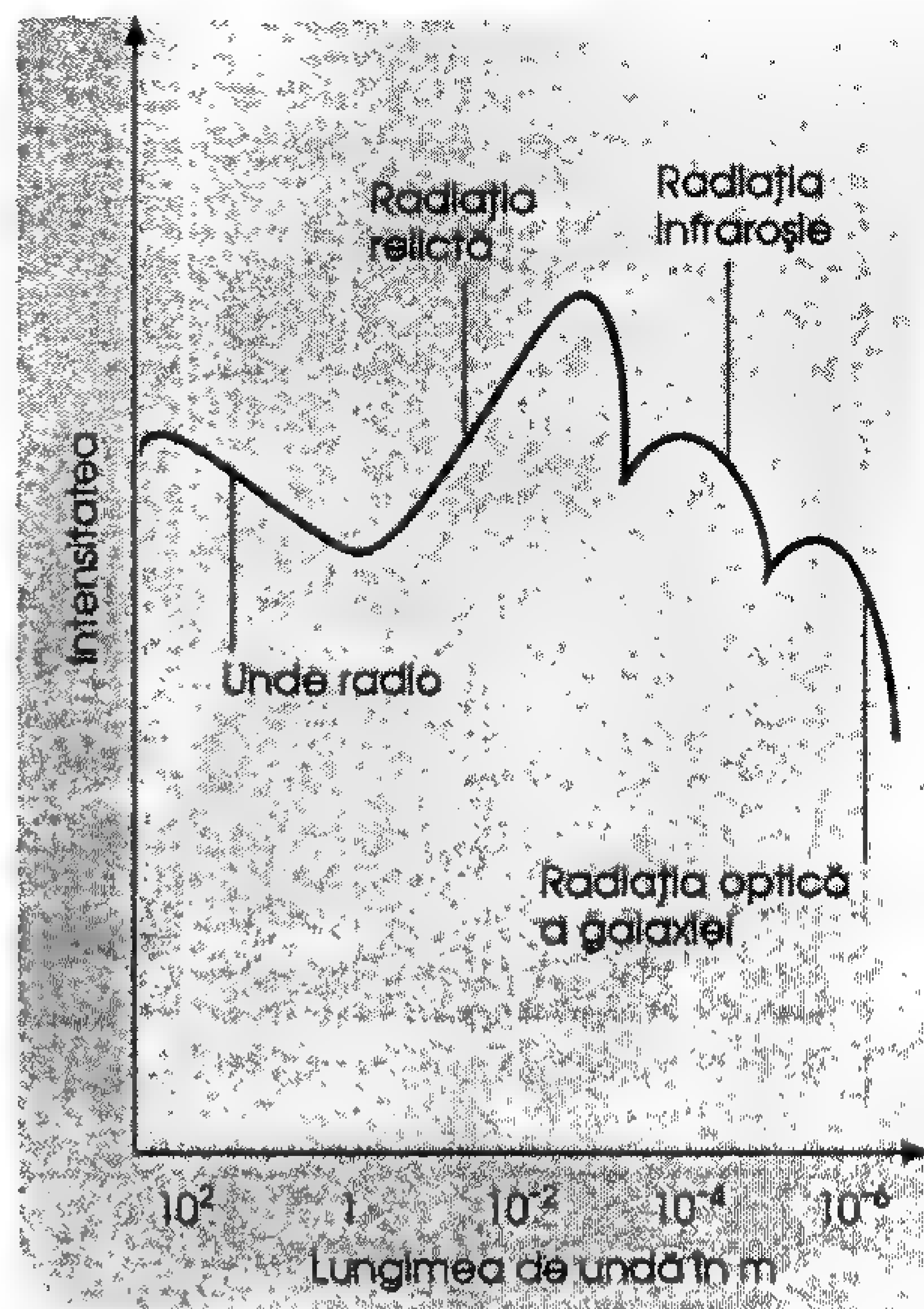
Faza fierbinte a Cosmosului. Perioadă de timp după explozia iniţială, în care Universul se afla într-o fierbinte şi densă stare iniţială, în care domina o radiaţie electromagnetică intensivă şi bogată în energie; materia era descompusă în componentele sale elementare, iar procesele fizice decurgeau extrem de încet.

↗ Expansiunea Universului, p. 157;
↗ Radiaţia 3K, p. 162;
↗ Evoluţia Universului, p. 162;
↗ Teoria Steady - State, p. 163;
↗ Teoria Big Bounce, p. 164;
↗ Teoria exploziei iniţiale, p. 181.

Radiaţie cosmică intensivă în domeniul frecvenţelor radio, a cărei temperaturi corespunde cu cea a unui corp negru de 2,7K. Densitatea sa este de 10^3 protoni pe centimetrul cub.

Această radiaţie ne parvine din toate direcţiile Universului (izotrop), cu aceeaşi intensitate. Ea nu este legată de nici un corp cosmic.

După teoriile actuale, radiaţia 3K, denumită şi *radiaţie relictă* sau *de fundal*, este un rest din timpurile de acum 10^5 ani după explozia iniţială, când materia cosmică se află într-o stare extrem de fierbinte. Prin expansiunea Universului, radiaţia s-a răcit până la valoarea actuală de 2,7 K.



Spectrul radiaţiei electromagnetice în Univers, inclusiv radiaţia 3K

Evoluţia Universului

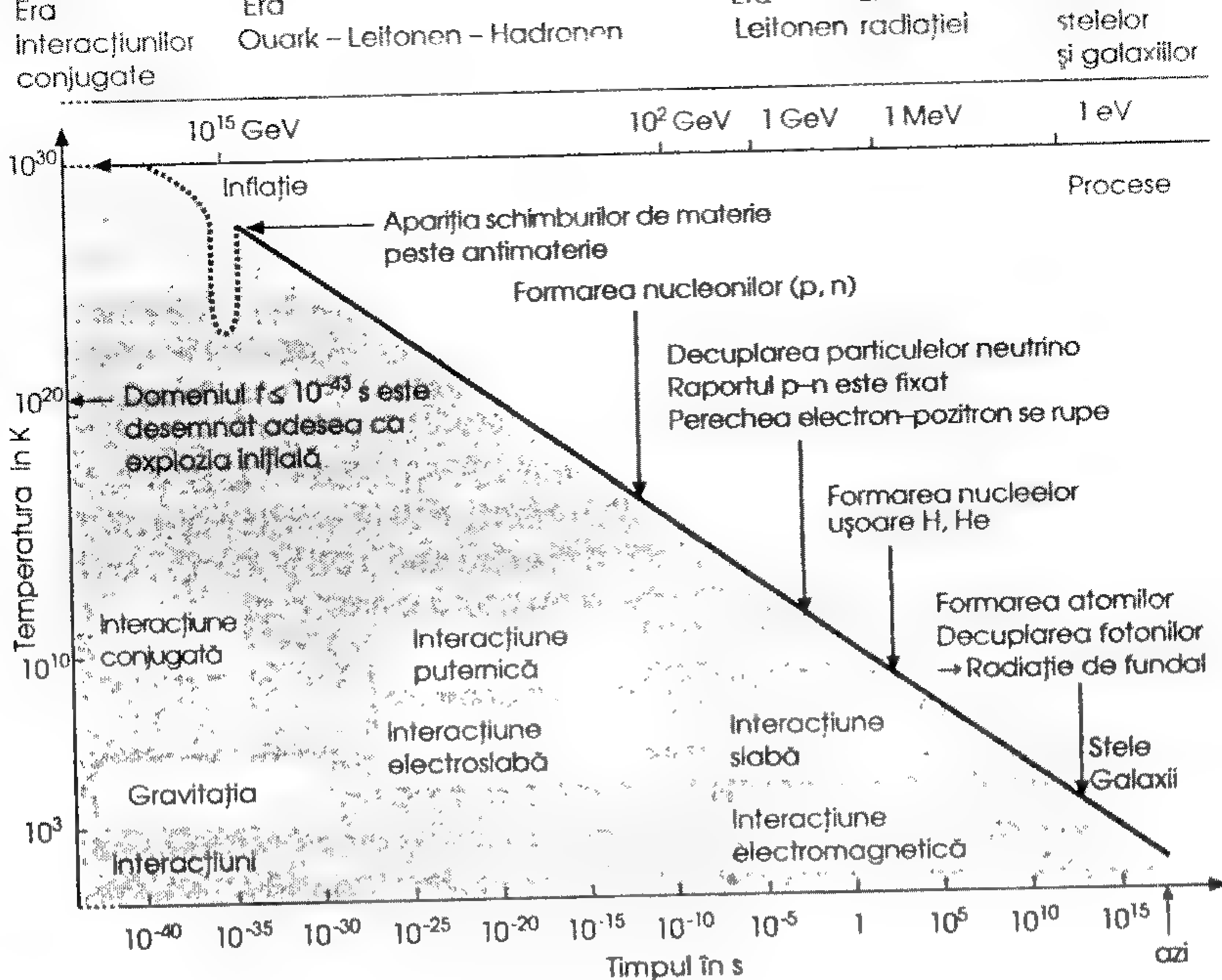
Procese evolutive ce se desfăşoară în Univers de la începutul expansiunii. În primele secunde şi minute de după începutul expansiunii, aceste procese au decurs extrem de repede. Universul s-a dezvoltat dintr-o plasmă primordială fierbinte, ajungând, în condiţiile unei expansiuni continue, ale unei răciri asociate, ca şi, ca urmare a diminuării densităţii, în starea sa actuală.

Pe baza datelor observate şi a teoriei exploziei iniţiale, se deosebesc diferite faze de evoluţie.

Universul inflaţionar. Teorii conform cărora evoluţia Universului ar fi o succesiune de faze „liniştite" şi „furtunoase" (inflaţionare). În fazele inflaţionare, domeniile limitate ale Universului cu un conţinut foarte mare de radiaţii, se extind extrem de repede prin răcire.

■ Pentru o astfel de fază inflaţionară, s-a stabilit pentru Universul vizibil perioada de timp cuprinsă între 10^{-40} ... 10^{-35} s după explozia iniţială. În această fază, Universul nostru exista sub forma unui foarte fierbinte „balon" de materie, a cărui temperatură ajungea la circa 10^{27}K. Prin răcirea „balonului" şi trecerea spre o fază „liniştită", expansiunea a fost, în mod esenţial, accelerată („inflaţie").

↗ Evoluţia Universului, p. 162.

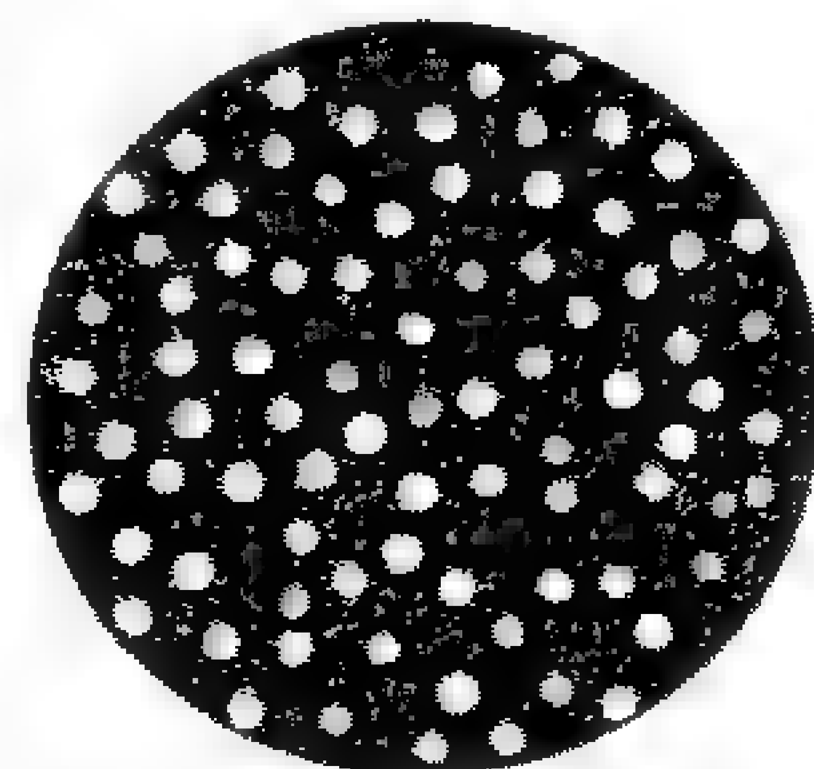


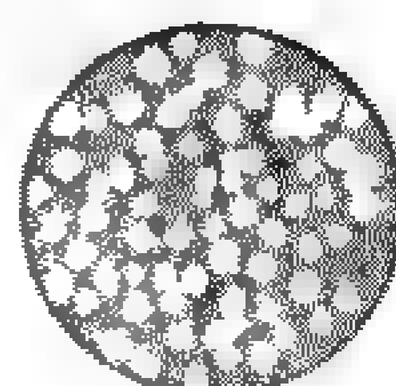
Era interacțiunilor conjugate

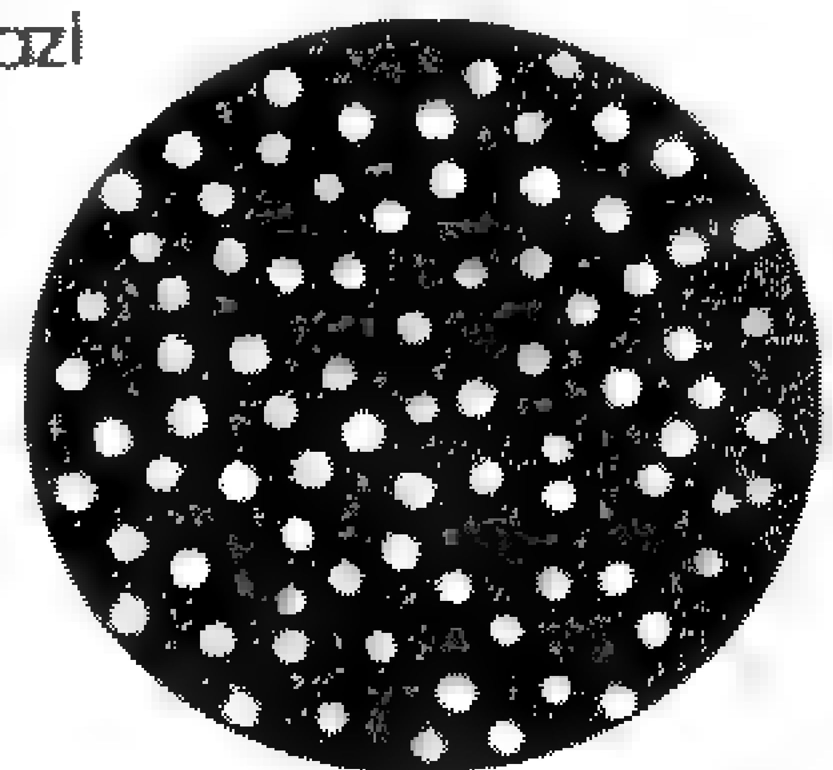
Alte modele cosmologice (selecție)

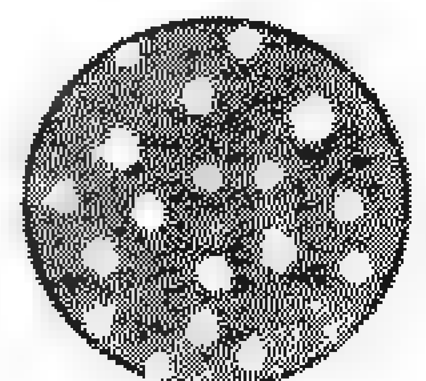
Alături de modelul exploziei inițiale, există și alte modele ale evoluției Universului, care nu se bazează pe o explozie inițială.

Teoria Steady–State. Teorie cosmologică aflată în contradicție cu teoria exploziei inițiale, conform cărora Universul, aflat într-o nelimitată expansiune, are în permanență aceeași densitate a materiei. Această teorie presupune o continuă creare de materie. Întrucât rata de formare este neverosimil de mică, particulele materiale nou formate nu au reușit să fie puse în evidență experimental. Cel mai important contraargument pentru un Univers Steady–State este radiația de 3K.









Densitatea materiei în Universul aflat în expansiune, după teoria exploziei inițiale și după teoria Steady–State

Teoria Big Bounce. Conform acestei teorii, Universul nu are început în timp şi spaţiu. Întotdeauna a existat un spaţiu lipsit de materie, care s-a contractat până la un volum redus şi, printr-o „big bounce" („mare explozie"), şi-a corijat deformarea, iar apoi s-a extins nelimitat. Din aşa-numitul vacuum cuantic a luat naştere, prin transformări de fază, „materia primordială", din care sunt formate obiectele cosmice, precum stelele şi galaxiile.

↗ Explozia iniţială p. 161

Teoria materie–antimaterie. Conform acestei teorii, Cosmosul a apărut dintr-o uriaşă galaxie, în care materia şi antimateria se regăseau în părţi egale. Uriaşa galaxie s-a prăbuşit sub acţiunea propriei forţe gravitaţionale. În centru, din interacţiunea dintre materie şi antimaterie, apare radiaţia. Enorma presiune radiativă astfel apărută transformă contracţia în expansiune. Până astăzi nu a putut fi dovedită existenţa unei radiaţii Roentgen sau gamma ce ar trebui să apară la interacţiunea dintre materie şi antimaterie. În afară de aceasta, teoria materie–antimaterie nu oferă o explicaţie pentru radiaţia de 3 K.

Viitorul Universului

Universul nostru actual îşi poate continua evoluţia fie printr-o infinită expansiune, fie printr-o contracţie survenită după un timp, respectiv printr-o alternanţă de faze de expansiune şi contracţie (univers oscilant). Care dintre aceste trei variante este cea reală, depinde de densitatea materiei, a cărei valoare nu este încă cunoscută astronomilor. Dacă se ia în calcul doar materia vizibilă, atunci densitatea de masă justifică ipoteza unui univers într-o perpetuă expansiune.

Repere de timp într-un univers în perpetuă expansiune	
Vârsta actuală a Universului	18 x 10^9 ani
Stelele se sting	10^{14} ani
Stelele îşi pierd planetele	10^{15}ani
Galaxiile îşi pierd stelele	10^{19} ani
Planetele se prăbuşesc în stelele–mamă	10^{20} ani
Protonii se distrug	10^{33} ani (?)
Protonii se distrug prin colaps gravitaţional	10^{45} ani
Găurile negre stelare radiază	10^{64} ani
Materia se lichefiază la punctul zero absolut	10^{65} ani
Stele negre supermasive strălucesc	10^{100} ani
Întreaga materie se transformă în fier	10^{1500} ani
Stelele de fier se transformă în găuri negre	$10^{10^{26}}$ ani (?)
Colapsul astral al stelelor de fier în stele neutronice	$10^{10^{76}}$ ani

↗ Expansiunea Universului, p. 157.
↗ Densitatea critică a materiei, p. 157.
↗ Materia cenuşie, p. 157.

Istoria astronomiei

ÎNCEPUTURILE ASTRONOMIEI

Arheoastronomia

Astronomia este frecvent desemnată drept cea mai veche dintre științele naturii. Ea își are originea în preistoria umanității. Cercetările arheoastronomice demonstrează că, încă în urmă cu 7000 de ani, oamenii epocii de piatră observau pe bolta cerească fenomene neobișnuite. Arheoastronomia este o știință interdisciplinară. Colaborând în special cu arheologia și cu științele religiei, ea se află în căutarea mărturiilor observațiilor astronomice ale oamenilor primitivi. În acest scop, ea studiază inscripțiile cuneiforme, calendarele de piatră, picturile rupestre și alte surse ale acelor timpuri.

■ La nord de Salisbury (Anglia) se află complexul megalitic de la Stonehenge, un complex megalitic foarte bine păstrat, ridicat în mai multe etape, între anii 3100 și 11 î. Hr. Probabil, acest complex era folosit atât în scopuri astronomice, ca observator solar și lunar, cât și ca loc de cult.

Astronomia

Legătura cu natura și dependența față de aceasta l-au îmboldit pe om încă de timpuriu să observe corpurile cerești. Motivele religioase, ca și cele practice, precum o mai exactă împărțire a timpului, succesiunea activităților agricole, întocmirea unui calendar utilizabil, orientarea pe mare sau în deșert, au fost cele mai importante motive pentru însușirea cunoștințelor astronomice.

■ Existența cunoștințelor despre corpurile cerești poate fi dovedită și de practicarea de către oamenii primitivi a cultului morților. Frapant de des, mormintele lor sunt orientate în direcția punctelor cardinale. Așadar, pe atunci oamenii erau în stare ca, pe baza observațiilor astronomice, să stabilească punctele cardinale.

Astrolatria

Ca urmare a nivelului de cunoștințe din acele timpuri, stelele erau adorate de către oameni ca zei sau ca mesageri ai dorinței zeilor. Adorația religioasă a corpurilor cerești a dus la apariția astrolatriei. Stelelor le erau atribuite forțe cu care acționau asupra Pământului.
Planeta Marte a fost identificată cu zeul războiului, Nergal, a cărui apariție a fost legată de izbucnirea de războaie și provocarea de mari distrugeri. Planetei Venus i-a fost asociată zeița Ishtar, zeiță a fertilității și regină a cerului.
Astrolatria a stimulat dezvoltarea astronomiei. Credința în divinitatea stelelor a condus la o tot mai mare preocupare pentru mișcările corpurilor cerești și a contribuit în mod esențial la apariția astrologiei.

↗ Astrologia, p. 166

ASTRONOMIA LA ÎNCEPUTUL ANTICHITĂȚII

La popoarele cultivate ale Antichității timpurii, în Babilon, Egipt, India, China și America Centrală, astronomia a cunoscut o mare înflorire.

Astronomia în Babilon

Importante informații despre astronomia babiloniană ne parvin cu precădere din anii 600 î. Hr.. Babilonienii observau, printre altele, mișcarea Lunii și a Soarelui, fazele Lunii, eclipsele, mișcarea planetelor și rotirea diurnă a bolții cerești.
Datele despre stelele observate erau adunate într-un compendiu care îngloba, de asemenea, informații despre poziția reciprocă a corpurilor cerești, răsăritul și apusul lor, ca și despre culminația acestora.
În cataloage apar și date despre lungimea umbrei Soarelui, despre mișcarea Lunii sau a planetelor pe bolta cerească. Aceste cunoștințe le permiteau babilonienilor să stabilească perioada de revoluție a planetelor, ceea ce le îngăduia antecalcularea poziției lor.
De asemenea, ei cunoșteau regulile prognozării pe termen lung a eclipselor.
Importante constelații, cum ar fi Orion, Ursa Mare, și-au primit numele în acele vremuri și în acel spațiu cultural. Împărțirea timpului s-a făcut în funcție de mișcarea Lunii. Babilonienii au creat un fundament empiric pentru o astronomie științifică.



Imaginea mitologică a universului la babilonieni. Lumea de deasupra plutește sub forma unui zigurat pe oceanul terestru. Deasupra se întind primul, al doilea și al treilea cer. Sub ocean se află lumea de jos, cu palatul regatului morților, înconjurat de șapte ziduri. Oceanul terestru este mărginit de zăgazurile cerului, pe care se înalță munții răsăritului și apusului de Soare (reconstituire după diferite surse).

Apariția astrologiei

Babilonienii erau în căutarea unor legături dintre om, Pământ și Cosmos. Astrolatria a dus la acceptarea existenței unei influențe hotărâtoare a stelelor asupra vieții pământene, ceea ce a avut drept consecință apariția astrologiei.
Istoric, astrologia a cunoscut trei etape de evoluție:
– *astrologia predicțiilor* (aproximativ 1400–600 î. Hr.). Se ocupa cu evenimente de interes general, precum bolile, foametea, războaiele, pacea etc. și nu folosea nici semnele zodiacale, nici horoscopul.
– *astrologia zodiacală primitivă* (aproximativ 600 – 500 î. Hr.). Prin folosirea semnelor zodiacale, se făceau prognoze asupra evoluției de-a lungul unui an a vremii și a vegetației.

– *astrologia horoscopică* (din 500 î. Hr. până astăzi). Aceasta prezice soarta fiecărui individ, cu ajutorul horoscopului, ținând seama de poziția planetelor în momentul nașterii. Mai târziu, astrologia s-a răspândit din Babilon în întreaga lume antică. Nu exista o demarcație clară între observațiile și prognozele astronomice, pe de o parte, și tălmăcirile și profețiile astrologice, pe de altă parte. Observațiile astronomice precise ale bolții cerești erau cerute de astrologie, iar aceasta a stimulat, la rândul ei, acumularea de cunoștințe astronomice. Importanți învățați ai vremii s-au ocupat atât cu astronomia, cât și cu astrologia. Claudius Ptolemeu (aproximativ 100–170 d. Hr.) a creat cea mai importantă operă de astronomie a antichității – „ Almagest", și a fost totodată autorul principalei opere a astrologiei antice, „Tetrabiblios".
Învățații bizantini au introdus bagajul de idei al astrologiei în Europa, unde astrologia a cunoscut o mare înflorire în secolele al XV-lea și al XVI-lea. Mai târziu, după cristalizarea sistemului heliocentric al lui Copernic, astrologia și-a pierdut justificarea științifică. Astăzi, ea este mai mult o ramură de activitate care se folosește de nesiguranța timpurilor și de credulitatea oamenilor.
Într-o anumită epocă, astrologia și-a adus o importantă contribuție la devenirea spirituală a omenirii. Cercetarea sistematic–constructivă a lumii, întreprinsă de astrologie, a fost o grandioasă încercare de a privi lumea ca un întreg, o lume în care și omul este integrat.

Astronomia în Egipt

Printre cele mai importante îndatoriri ale preoților egipteni se număra măsurarea exactă a timpului. Aceasta era necesară atât derulării corecte a sărbătorilor religioase, cât și a semănatului și recoltatului. Ca urmare, adorarea Soarelui și a altor corpuri cerești ocupa un loc privilegiat în viața religioasă egipteană; încă de timpuriu exista un calendar bazat pe anul solar.
Întrucât, pe la 4000 î. Hr., începutul revărsării Nilului – un eveniment de o extraordinară importanță pentru agricultură – coincidea cu răsăritul heliactic al stelei Sirius în prima sa dimineață de apariție pe bolta cerească, aceasta se bucura de o deosebită prețuire. De aceea, anul începea în Egipt cu ziua în care, în zori, steaua Sirius strălucea din nou pe cer. Anul egiptean era împărțit în 12 luni a câte 30 de zile, la care se adăugau alte cinci zile. Observațiile pe lungi perioade de timp au demonstrat faptul că răsăritul stelei Sirius întârzie la fiecare patru ani cu câte o zi, anul bazat pe mișcarea aparentă a lui Sirius având în realitate 365 1/4 zile și nu 365. Tălmăciri astrologice în legătură cu Sirius au apărut abia în epoca târzie a Egiptului, sub influență babiloniană.
↗ Calendarul, p.39.

Astronomia în China

În jurul anului 3000 î.Hr., chinezii se lăudau deja cu observații ale unor fenomene surprinzătoare care au avut loc pe bolta cerească, cum ar fi eclipse, comete și meteori luminoși. În anul 1 054 d.Hr., chinezii observaseră deja o supernovă în constelația Taurului. Cu observarea bolții cerești erau însărcinați funcționarii, a căror principală sarcină era întocmirea calendarului și tălmăcirea politică a evenimentelor deosebite ce aveau loc pe bolta cerească. Chinezii, erau convinși de existența unei strânse legături între fenomenele observate pe cer și evenimentele de pe Pământ. ↗ Calendarul, p.39.

Astronomia în America Centrală

Printre primele popoare din acest spaţiu geografic care au întreprins observaţii astronomice au fost maiaşii. Se ştie astfel despre observarea unei eclipse totale de lună, în anul 3379 î.Hr. Fenomenele astronomice erau probabil în strânsă legătură cu esenţa calendarului maiaşilor.

ASTRONOMIA ÎN ANTICHITATE

Astronomia în Grecia

În timp ce popoarele antichităţii timpurii se îndeletniceau cu observarea corpurilor cereşti, gânditorii greci erau preocupaţi, în primul rând, de cauzele fenomenelor observate. Ei aveau convingerea că lumea stelelor era supusă unei ordini stabilite de zei, ale cărei principii trebuie să fie descoperite şi care pot fi descrise prin legi matematice. Grecii s-au concentrat, printre altele, asupra rezolvării următoarelor probleme:

– alcătuirea Cosmosului şi poziţia Pământului în Cosmos;
– explicarea mişcării corpurilor cereşti;
– raporturi de mărime şi distanţe existente în Univers.

Observaţii şi măsurători

Constelaţiile. Acestea sunt cele mai importante ajutoare pentru orientarea pe bolta cerească. Constelaţiile stabilite de babilonieni, printre altele şi semnele zodiacale, au fost preluate de greci şi îmbogăţite cu noi configuraţii. Din cele 88 de constelaţii stabilite astăzi prin acorduri internaţionale, 44 erau deja cunoscute încă din antichitate. Numele lor provin din lumea reprezentărilor acelor vremuri de demult. Douăsprezece dintre ele au, spre exemplu, nume umane, iar 23 au fost denumite după animale sau fiinţe fantastice.

Fundamentarea ideii formei sferice a Pământului. Încă de timpuriu, Soarele, Luna şi stelele erau considerate de către greci a avea forme sferice. Forma sferică a Pământului a fost dedusă din observarea navelor ce se apropie de ţărm şi din înălţimea diferită a stelelor pe bolta cerească, la observarea din puncte diferite. Aristotel a demonstrat forma sferică a Pământului în jurul anului 350 î.Hr. prin observarea formei circulare a umbrei proiectate de Pământ în timpul eclipsei de Lună.

Calcularea circumferinţei Pământului. În jurul anului 220 î.Hr., Eratostene a stabilit, cu ajutorul înălţimii Soarelui la amiază că distanţa unghiulară dintre cetăţile egiptene Alexandria şi Syene (astăzi Assuan) este de $7{,}5^0$. După măsurătorile sale, distanţa dintre cele două puncte era de 5 000 de stadii. De aici, el a calculat circumferinţa Pământului, pe care a găsit-o ca fiind de 252 000 stadii, adică de 36 690 km, ceea ce este foarte aproape de valoarea reală.

Determinarea depărtării şi a dimensiunilor Soarelui şi Lunii. În jurul anului 265 î.Hr., Aristarh din Samos a încercat, prin calcularea proporţiilor la semilună, într-un triunghi dreptunghic Pământ - Soare - Lună, să determine atât distanţa faţă de Pământ a Soarelui şi a Lunii, cât şi razele acestora. El a obţinut un raport de 1 : 19 între distanţa până la Soare şi cea până la Lună.

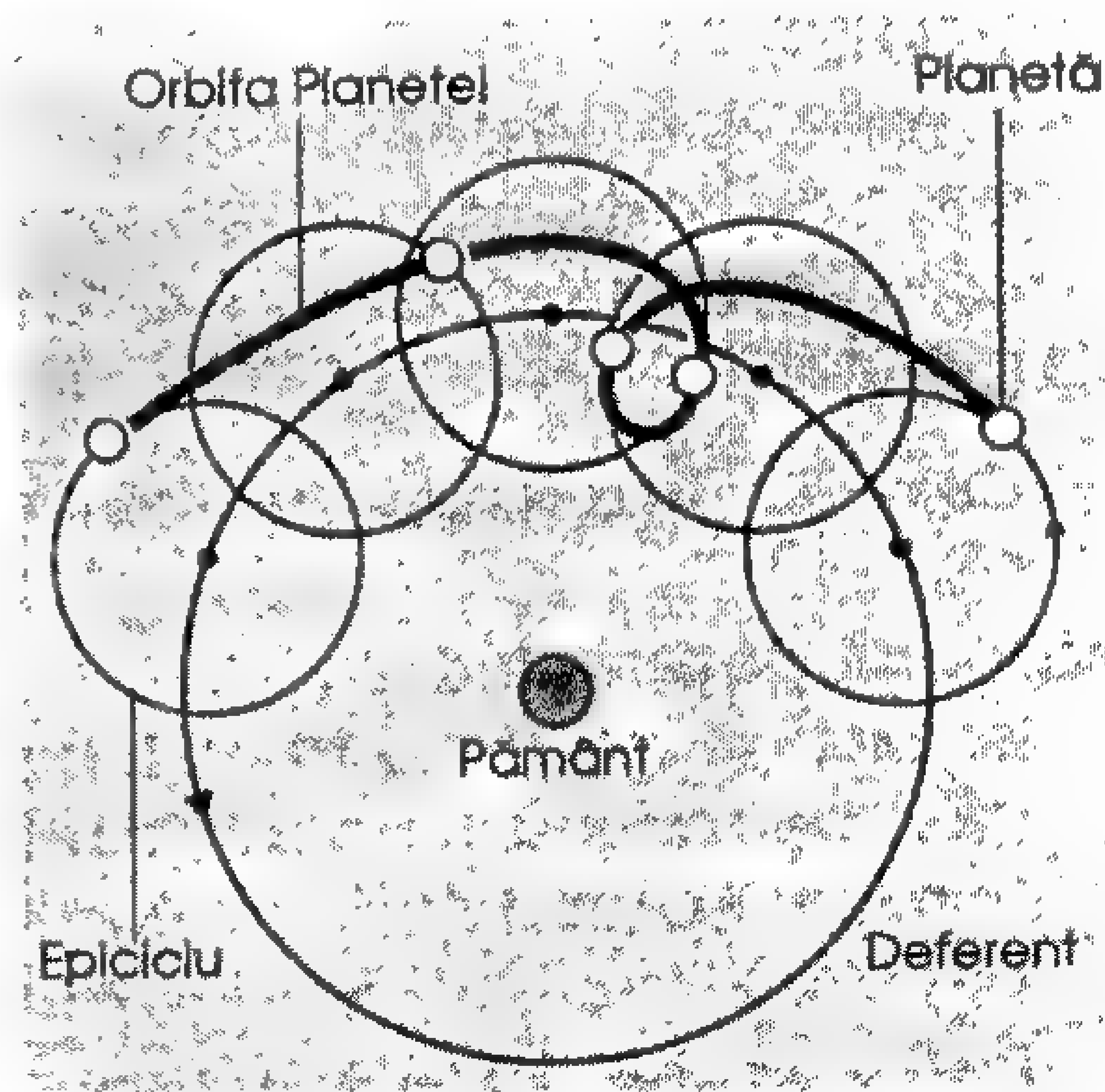
Deşi măsurătorile de astăzi dau alte valori decât cele găsite de Aristarh, învăţatul grec a rezolvat în principiu problema determinării distanţei dintre Pământ şi aceste corpuri cereşti. Mai departe, el a determinat raportul dintre raza Lunii şi cea a Pământului ca fiind de 0,36, iar raza solară ca având 6,75 raze terestre.

Studiul mişcărilor planetelor

Înainte de toate, grecii au încercat să explice mişcarea planetelor prin teoria conform căreia corpurile cereşti, fiind creaţii divine, nu puteau descrie decât traiectorii desăvârşite.

Dogma platoniciană a orbitei circulare. În jurul anului 400 î.Hr., Platon a pus la punct un sistem matematic în care corpurile cereşti de formă sferică, obiecte animate de zei, se mişcau în jurul Pământului pe orbite circulare şi cu o viteză constantă; mişcarea lor se considera a fi fără început şi fără sfârşit. Pentru Platon, anomaliile observate în mişcarea planetelor sunt doar aparente, în spatele lor desfăşurându-se mişcarea circulară uniformă reală a corpurilor cereşti. Ideile lui Platon despre traiectoria circulară a planetelor s-au transformat în timp, pe largul drum al cunoaşterii astronomice, într-o dogmă ce avea să fie respinsă cu argumente solide abia după ce Kepler avea să formuleze legile planetelor.

Teoria epiciclului a lui Hiparh. Hiparh, care pe la 150 î.Hr. a descoperit precesia Pământului şi care a întocmit pentru prima dată un registru astral, a încercat să explice mişcarea neregulată observată la planete cu ajutorul epiciclului. Conform teoriei lui Hiparh, planetele nu s-ar mişca direct în jurul Pământului, ci ar descrie mici cercuri (epicicluri) ale căror centre s-ar deplasa în jurul Pământului, descriind un cerc mai mare, denumit deferent. Prin aceasta se putea în primul rând explica mişcarea sub formă de buclă ce caracterizează evoluţia planetelor pe bolta cerească.



Teoria epiciclului a lui Hiparh

REPREZENTĂRI ALE UNIVERSULUI ÎN ANTICHITATE

Imaginea Universului în Grecia timpurie

Grecii, ca şi celelalte popoare ale antichităţii timpurii, erau credincioşi reprezentărilor mitice conform cărora Pământul ar fi fost un disc înconjurat de o mare inaccesibilă, din care stelele se ridică seară de seară şi în care se scufundă în fiecare dimineaţă. Din aceeaşi mare, în fiecare dimineaţă, se înălţa carul de aur al zeului Soarelui, Helios (mai târziu Apollo) spre a-şi parcurge drumul de fiecare zi pe cer.

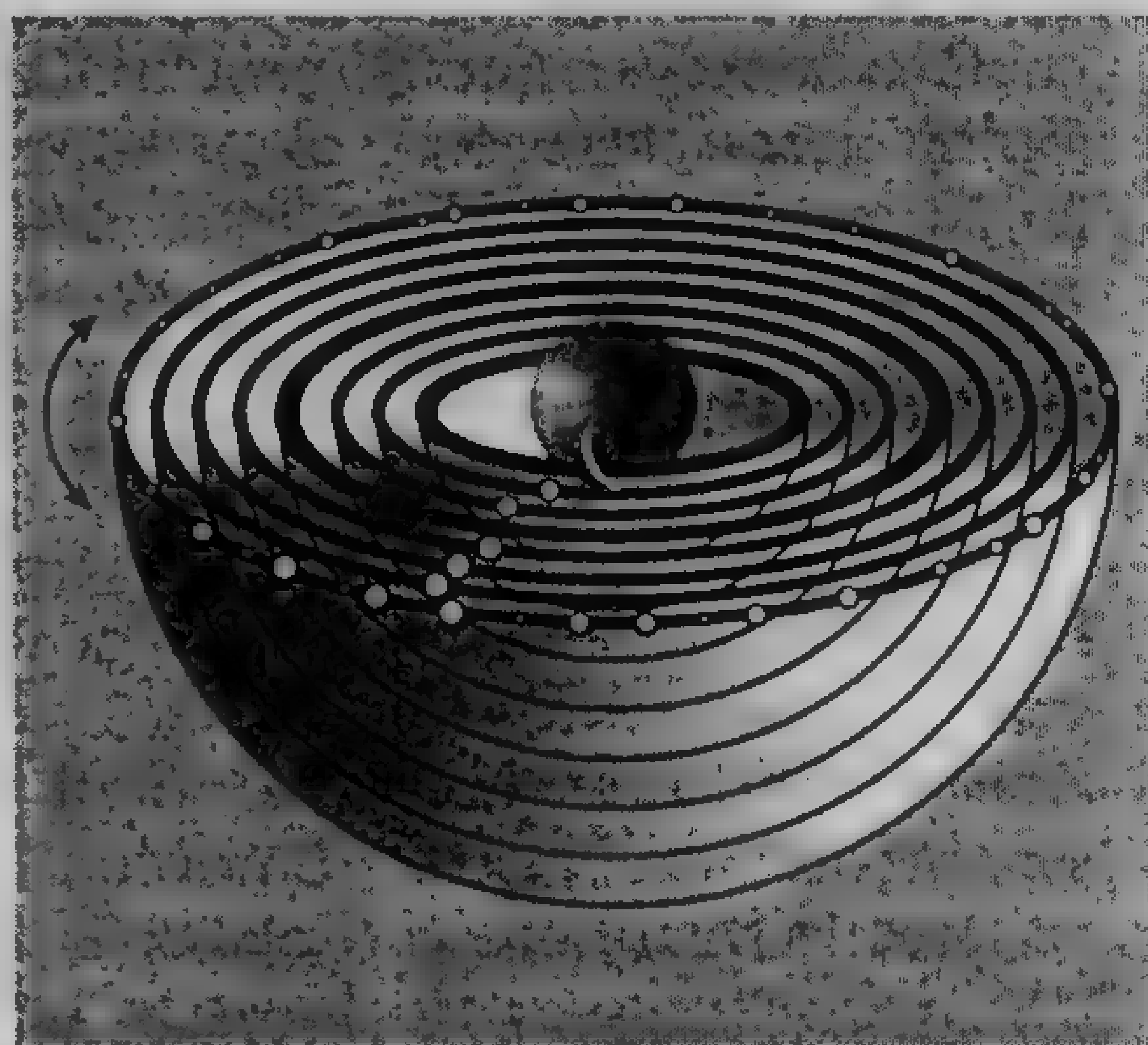
Geometria cerească a lui Eudoxos

În jurul anului 380 î.Hr., Eudoxos, în teoria sa a sferelor concentrice, încerca să realizeze o descriere matematică a mişcărilor aparente ale planetelor. Astfel, mişcarea neregulată a planetelor era transpusă în mişcarea uniformă a sferelor cereşti. Presupusele sfere i-au folosit lui Eudoxos doar ca instrument matematic.

Modelul cosmic al lui Aristotel

Aristotel năzuia, în jurul anului 350 î.Hr., către un sistem cosmic a cărui structură să nu se sprijine doar pe relaţii matematice, ci şi pe principii fizice. Pentru el, corpurile cereşti de formă sferică ce se deplasau pe orbite erau compuse din eter, o materie ce nu era supusă nici unui fel de schimbări. Pământul, cel mai greu dintre cele patru elemente grele care erau supuse transformărilor, se afla în centrul universului. Aristotel făcea deosebirea între o lume cerească şi una pământeană. Spre deosebire de Eudoxos, el priveşte sferele concentrice nu ca pe puncte de masă matematică, ci ca pe corpuri fizice. Sistemul de sfere se află într-o continuă mişcare, imprimată de un impuls divin asupra sferei exterioare. Mişcarea se transmitea apoi sferelor interioare. Universul era mărginit de stele fixe.

În afara acestor sfere, nu există nici loc, nici spaţiu, nici timp. Aristotel a creat primul model real al Cosmosului.

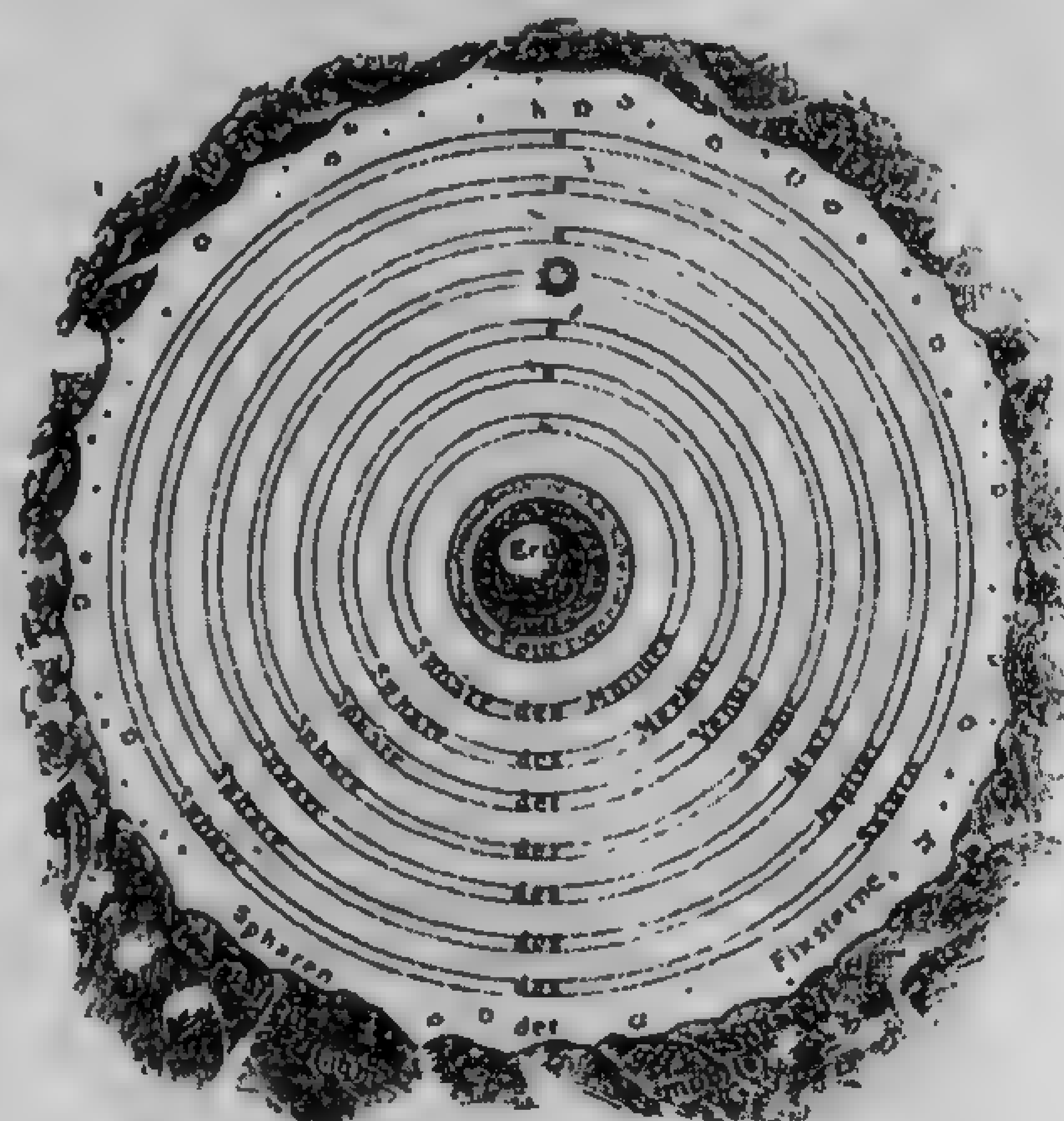


Cosmosul, ca o construcţie ordonată

Modelul geocentric

În jurul anului 150 d.Hr., Claudius Ptolemeu aduna cunoştinţele astronomice ale Antichităţii, împreună cu observaţiile sale, într-o teorie, matematic fundamentată, a mişcărilor corpurilor cereşti şi un model al structurii universului, ambele aflate într-un deplin acord cu observaţiile de până atunci.

În sistemul geocentric, Pământul, fix şi de formă sferică, se află în centrul Universului. În jurul său se mişcă, pe orbite, corpurile cereşti. Universul este mărginit de sfera stelelor fixe.



Modelul geocentric al lui Ptolemeu

Reprezentările ptolemeice se bazau pe rotirea zilnică a cerului, ce fusese observată încă din cele mai vechi timpuri, pe teoria orbitelor circulare a lui Platon, pe modelul cosmic al lui Aristotel, ca şi pe teoria epiciclului a lui Hiparh. Deşi sistemul ptolemeic se sprijină doar pe percepţii senzoriale nemijlocite, el a permis, condiţionat de nivelul de dezvoltare a tehnicilor de măsurare, anticipări aproximativ corecte ale mişcărilor şi poziţiilor planetelor. Sistemul geocentric a constituit un sprijin pentru concepţia filosofică a lui Aristotel, dominantă până în Evul Mediu, şi s-a găsit în concordanţă cu sistemul cosmologic biblic al acelor timpuri. Din aceste motive, el a constituit pentru mai mult de 1400 de ani baza primordială pentru cunoaşterea astronomică.

Almagest. Ptolemeu a adunat întreaga ştiinţă astronomică a timpului său în opera în treisprezece volume „Mathematice syntaxis" (sau „Megale syntaxis"), ajunsă în Europa Evului Mediu timpuriu sub numele arab de „Almagest".

↗ Mişcarea geocentrică a planetelor, p. 53.

Teorii heliocentrice speculative

Alături de teoriile geocentrice, în Antichitate au existat şi idei heliocentrice speculative. În jurul anului 420 î.Hr., Philolaos din Croton considera că toate stelele, chiar şi Pământul privit ca planetă, s-ar învârti în jurul unui foc central, aflat în mijlocul Universului. În jurul anului 350 î.Hr., Heraclit (Heracleides Ponticos) a contrazis ideea focului central, susţinând că planetele şi Soarele s-ar învârti în jurul unui centru comun.

În jurul anului 270 î.Hr., Aristarh din Samos trăgea concluzia, după determinarea mărimii Soarelui, că acesta se află în centrul Universului şi că este înconjurat de planete, inclusiv Pământul.

Obiecţii reale şi prejudecăţi filosofice au limitat pe atunci răspândirea concepţiei heliocentrice.

ASTRONOMIA MODERNĂ

Astronomia în Evul Mediu timpuriu

Din secolul al VIII-lea până în secolul al XIV-lea, arabii au păstrat şi dezvoltat moştenirea astronomică a antichităţii. Ei au tradus opera lui Ptolemeu în arabă. Sub titlul „Almagest", ea a ajuns în Europa Centrală. Modelul cosmologic al Occidentului creştin medieval se baza în primul rând pe Vechiul Testament şi pe reprezentările astronomice babiloniene. Principalele preocupări ale astronomiei acelor timpuri au fost urmărirea calendarului şi stabilirea datelor sărbătorilor religioase. În afară de acestea, comerţul şi transporturile, în plină dezvoltare, aveau nevoie de o mai exactă orientare pe bolta cerească. Tehnici de măsurare mai bune şi o mai mare exactitate a observaţiilor astronomice au condus la diferenţe între o presupusă poziţie a planetelor, datorată teoriei ptolemeice, şi poziţia reală. Încercările lui G. Purbach şi J. Müller (Regiomontanus), la sfârşitul secolului al XV-lea, de a îmbunătăţi modelul geocentric prin observaţii sistematice asupra planetelor, au fost sortite eşecului.

Modelul heliocentric

În prima jumătate a secolului al XVI-lea, meditând asupra bazelor teoriei geocentrice, Nicolaus Copernic reuşeşte elaborarea unui nou model de sistem planetar. Consideraţiile sale, ce se regăsesc pe scurt în „Commentariolus" (1510), şi apoi detaliat în opera sa de bază „De revolutionibus orbium coelestium" (1543), conţin următoarele idei esenţiale:

Reprezentarea heliocentrică a Universului

- Universul şi Pământul sunt sfere.
- Centrul Pământului nu este centrul Universului, ci numai centrul orbitei Lunii.
- Toate planetele, inclusiv Pământul, se rotesc în jurul Soarelui.
- Centrul sferei fixe este Soarele.
- Cerul stelelor fixe este atât de îndepărtat, încât dimensiunile sistemului planetar sunt infim de mici.
- Pământul descrie o mişcare triplă.
  a) Rotaţia zilnică în jurul propriei axe, care se regăseşte în mişcarea zilnică a cerului stelelor fixe, de la est la vest.
  b) Mişcarea anuală a Pământului şi a Lunii în jurul Soarelui. Mişcarea aparentă a Soarelui este o reflectare a mişcării Pământului.
  c) rotaţia axei terestre pe suprafaţa unui con în 26 000 ani (precesie).
- Orbitele sub formă de bucle, descrise de planete pe bolta cerească, apar ca urmare a mişcării lor reale şi datorită mişcării Pământului în jurul Soarelui.

Prin elaborarea sistemului heliocentric, Copernic a determinat trecerea de la astronomia antică la cea modernă.

↗ Mişcarea heliocentrică a planetelor, p. 50.

Limitele reprezentărilor lui Copernic

– cantonarea în concepţia antică a mişcării circulare a corpurilor cereşti;
– lipsa posibilităţii de confirmare a paralaxelor stelelor fixe.

Rezonanţa modelului heliocentric

Argumentele teologice şi profesionale se ridicau împotriva sistemului lui Copernic. Suprimarea diferenţelor dintre lumea pământeană şi cea cerească în modelul heliocentric contrazicea cuvântul Bibliei, ceea ce a condus la un conflict cu Biserica. Inchiziţia catolică a pus la index opera lui Copernic din 1614 până în 1825.

Chiar astronomi renumiţi au privit noul model cu precauţie sau l-au respins din cauza faptului că modelul lui Copernic, nu descria mai exact decât modelul geocentric mişcarea planetelor, iar o dovadă pentru mişcarea de rotaţie a Pământului lipsea.

Modelul lui Tycho Brahe. Tycho Brache trece drept cel mai mare observator al perioadei pretelescopice. El a respins modelul heliocentric din cauza faptului că nu a putut dovedi cu instrumentele epocii sale deplasarea paralactică a stelelor fixe, datorată rotaţiei Pământului.

Brache a conceput un model propriu (1588), în care Soarele şi Luna se învârt în jurul Pământului, iar planetele în jurul Soarelui.

Această reprezentare nu a dobândit totuşi o importanţă esenţială.

Formularea legilor planetelor

Vechea teorie a lui Copernic conform căreia planetele evoluează cu o viteză uniformă pe o orbită circulară în jurul Soarelui a fost contrazisă la începutul secolului al XVI-lea de către Johannes Kepler, prin formularea legilor planetelor. Studiind bogatul material obţinut prin observaţiile lui Tycho Brahe, Kepler descoperă o serie de legi ale mişcării planetelor, legi cunoscute drept cele trei legi ale lui Kepler (1609, 1619). Conform acestora, planetele se mişcă pe orbite eliptice inegale în jurul Soarelui, cu Soarele într-unul din focarele elipsei, existând o corespondenţă între distanţa planetei faţă de Soare şi viteza sa pe orbită. Deşi Kepler încă nu descoperise cauzele mişcării planetelor, era deja foarte aproape de explicaţia fizică a fenomenului. Pentru el, planetele nu erau fixate pe sfere cereşti, ci erau corpuri ce evoluau liber în spaţiu.

Prima observaţie astronomică efectuată cu ajutorul unei lunete

La începutul secolului al XVII-lea, nou descoperita lunetă s-a adăugat arsenalului folosit pentru observaţiile astronomice. Cu ajutorul său a devenit posibil, printre altele, să se deosebească structuri pe corpurile cereşti apropiate şi să se observe obiecte cosmice, invizibile cu ochiul liber.
Galileo Galilei (1609) a descoperit cu luneta sa, printre altele, petele solare, munţii de pe Lună, cei patru mari sateliţi ai lui Jupiter, fazele lui Venus şi stele ale Căii Lactee.
Galilei s-a pronunţat, prin cuvânt şi prin scris, pentru sistemul lui Copernic, ceea ce l-a adus în 1633 condamnarea din partea Inchiziţiei. Condamnarea a fost suspendată abia în anul 1992! ↗ Refractor, p. 13.

EVOLUŢIA ASTRONOMIEI CLASICE

Din secolul al XVII-lea până în secolul al XIX-lea, astronomia s-a ocupat, în principal, cu mişcarea corpurilor cereşti şi cu formularea legilor aflate în legătură cu acest fenomen (mecanica cerească). Mai departe, astronomii au năzuit spre o măsurare cât mai precisă posibil a Universului (astrometrie), şi au început cercetarea compoziţiei sistemului nostru stelar (statistică stelară). Aceste preocupări au adus cunoştinţe noi, esenţiale, despre Univers.

Mecanica cerească

În opera sa „Philosophiae naturalis principia mathematica" (1687), prin folosirea unor termeni precum forţă, masă ş.a., Isaac Newton a pus bazele mecanicii cereşti ca ştiinţă a mişcării corpurilor cereşti.

Descoperirea gravitaţiei

Newton a răspuns la întrebarea de ce se mişcă planetele în jurul Soarelui. El a descoperit că forţa de atracţie reciprocă dintre corpurile cereşti, care este dependentă de masele respectivelor corpuri şi de distanţa dintre acestea, este cauza mişcării pe orbită a planetelor. Legea gravitaţiei, formulată de Newton, are o importanţă fundamentală, întrucât datorită acesteia, pot fi explicate mişcările corpurilor în spaţiul cosmic. El a adus totodată dovada

că nu există o fizică pământeană și una cerească, ci numai o fizică universală.

↗ Legea gravitației, p. 49.

Prima calculare a orbitei unei comete

Cu legea gravitației, astronomii aveau la îndemână o metodă pentru calcularea orbitei parabolice descrise de o cometă în jurul Soarelui. Edwin Halley (1706) a folosit această metodă pentru 24 de comete. El a descoperit că anumite orbite ale cometelor sunt aproape identice, fapt care l-a condus la concluzia că are de-a face cu unul și același obiect care se deplasează pe o elipsă quasiparabolică, având o perioadă de rotație în jurul Soarelui de 75 de ani. Astfel a fost prevăzută reîntoarcerea acestei comete, care a primit numele Halley.

↗ Orbitele cometelor, p. 48.

Descoperirea planetoizilor

La începutul secolului al XIX-lea (1801), Piazzi a descoperit primul planetoid, Ceres, care se mișcă în jurul Soarelui, pe o orbită situată între Marte și Jupiter. În același timp, au apărut studii teoretice care au dus la dezvoltarea mecanicii cerești. Carl Friedrich Gauss a publicat un studiu (1809) despre determinarea orbitelor planetoizilor pe baza a trei observații ale poziției lor.

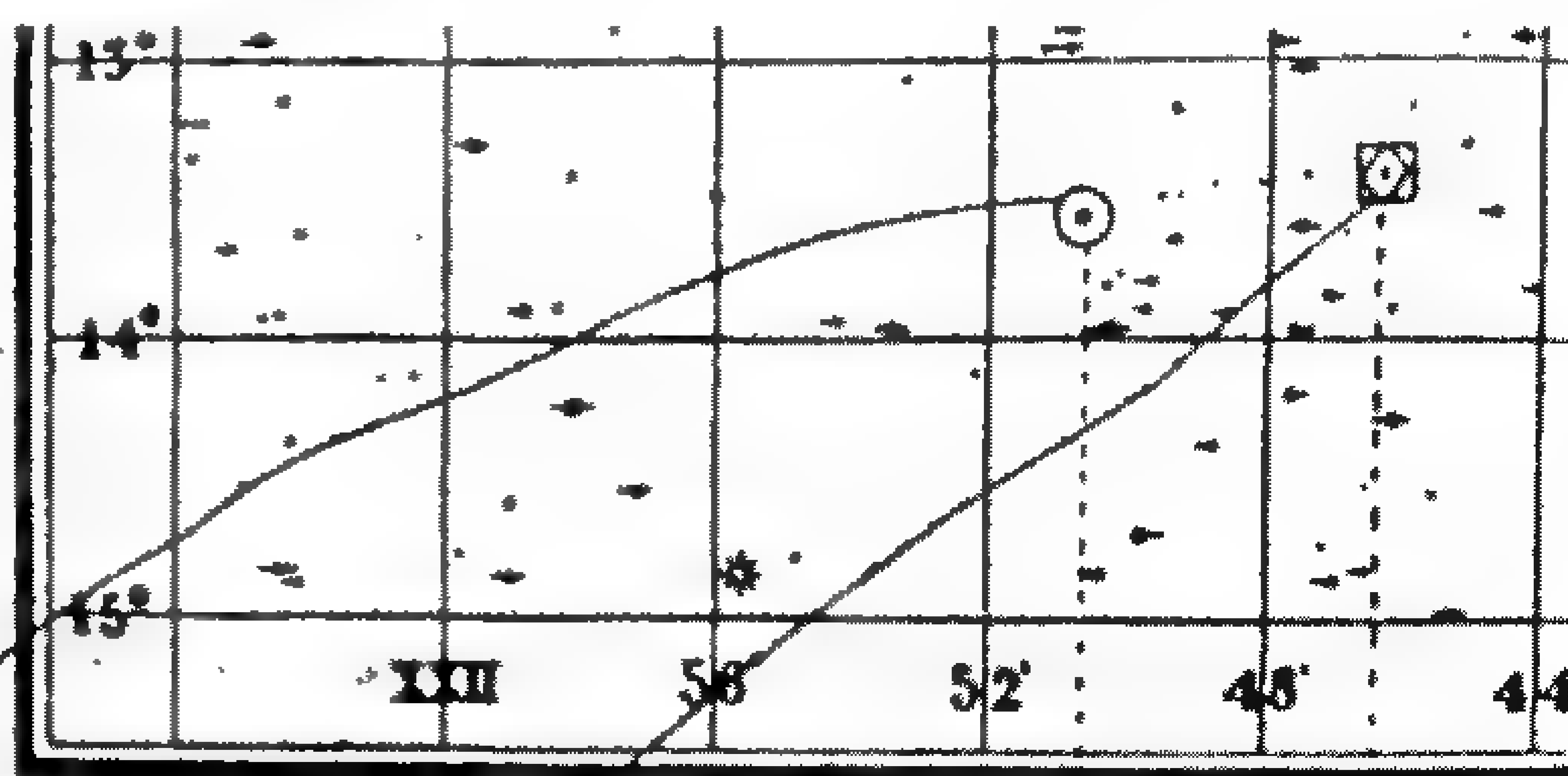
Elipsa și efemeridele lui Ceres au putut fi determinate cu ajutorul metodei lui Gauss. Astăzi sunt calculate orbitele a aproximativ 3000 de planetoizi.

↗ Planetoizii, p. 89.

Descoperirea planetelor Uranus, Neptun și Pluto

În anul 1781, F.W. Herschel descoperă planeta Uranus, vizibilă doar cu ajutorul telescopului. Din perturbațiile orbitei lui Uranus, U.J. Leverrier a dedus, cu ajutorul legii gravitației, poziția unei planete încă necunoscute, care a fost găsită de J.G. Galle (1846) în apropierea poziției calculate de Leverrier și care a primit numele de Neptun. Planeta Pluto a fost descoperită întâmplător, prin observații fotografice, de către T.C. Tombaugh (1930).

↗ Uranus, p. 73; ↗ Neptun, p. 73; ↗ Pluto, p. 73.



Schița descoperirii planetei Neptun

Astrometria

La începutul secolului al XIX-lea, astronomii au început să fie din ce în ce mai interesați de studiul stelelor fixe. Prin aceasta au fost dezvoltate metodele astrometrice existente. Observațiile și calculele s-au îndreptat spre măsurarea cu mai mare exactitate a poziției corpurilor cerești.

Primele măsurări ale paralaxelor stelelor fixe

Concepția heliocentrică a mișcării pe orbită a Pământului în jurul Soarelui a favorizat încercările de determinare a paralaxelor la stelele fixe.
Astfel E. Halley (1718) a descoperit mișcările proprii ale stelelor fixe, iar J. Bradley (1728) aberația luminii stelare.
Friedrich Wilhelm Bessel (1835) a determinat prima paralaxă a unei stele fixe și a putut să indice depărtarea stelei 61 din Lebăda.
Cam în același timp, W. Struve și Th. Henderson descoperă deplasarea de paralaxă la stelele α Centauri și Vega.
Măsurătorile amintite erau dovezi pentru mișcarea Pământului pe o orbită în jurul Soarelui și negau ideea existenței unei așa-numite sfere a stelelor fixe.

↗ Determinarea trigonometrică a distanței, p. 109.

Statistica stelară

La începutul secolului al XIX-lea începea o mai detaliată cercetare a sistemului nostru stelar, în centrul atenției stând structura sa și mișcările care au loc în cuprinsul său.

Speculații și prime cercetări ale structurii Căii Lactee

G. Bruno (în jurul anului 1600) susținea ideea speculativă că Universul ar fi un spațiu infinit, populat de un mare număr de sori, în jurul cărora se pot roti planete.
Th. Wright (1750) a elaborat primul plan al constituirii Universului. Din observațiile cu telescopul, el știa că sistemul nostru stelar, Calea Lactee, este compus dintr-o mulțime de stele.
El a promovat ideea unui sistem stelar în formă de disc, ce are extindere maximă pe direcția planului care conține discul.
Kant (1755) a dezvoltat ideea lui Wright, susținând că aplatizarea sistemului stelar s-ar datora propriei sale rotații.
J.H. Lambert a dedus din observarea Căii Lactee că sistemul nu este sferic, ci plat ca un disc, diametrul său fiind considerabil mai mare decât grosimea sa. Considerațiile speculative au influențat cercetările ulterioare din domeniul statisticii stelare.
Herschel (1784) a studiat repartiția stelelor în spațiu, numărând toate stelele vizibile cu ajutorul telescopului său. El trece drept fondator al statisticii stelare. Din numărarea stelelor, Herschel a dedus un model asupra structurii sistemului nostru stelar, pe care el îl vedea ca pe o lentilă plată. Pentru dimensiunile Căii Lactee, el a dat valori prea mici, iar părerea sa că Soarele s-ar afla în centrul galaxiei a fost contrazisă de descoperirile ulterioare.

↗ Calea Lactee, p. 139.

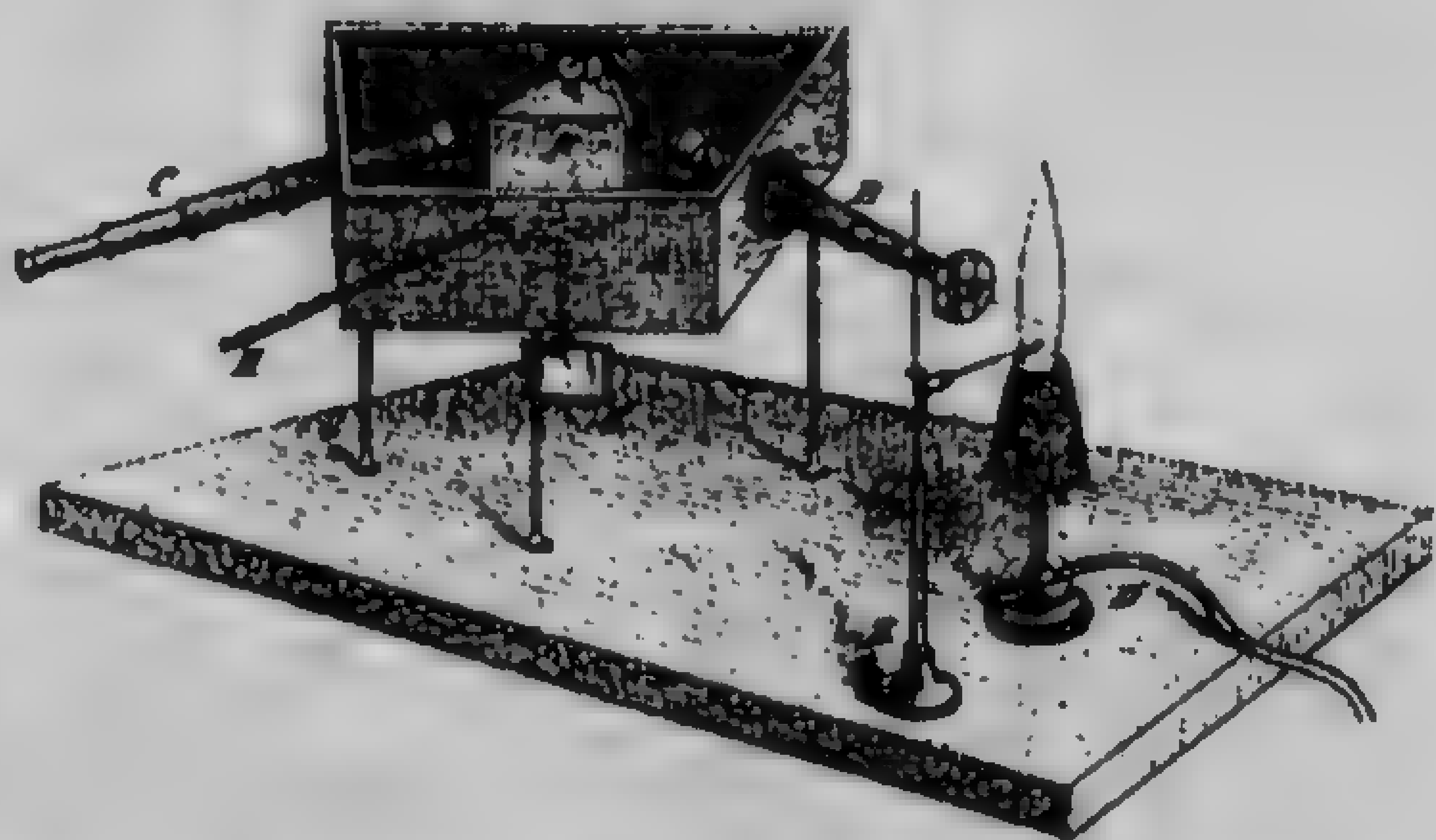
DEZVOLTAREA ASTRONOMIEI CA DISCIPLINĂ DE SPECIALITATE

Apariția astrofizicii

Progresele fundamentale ale cunoașterii în fizică și recurgerea la procedee de lucru specifice fizicii în cercetarea astronomică au condus în cea de a doua jumătate a secolului al XIX-lea la cristalizarea astrofizicii – un domeniu nou, iar astăzi domeniul cel mai important al astronomiei. Astrofizica se ocupă, înainte de toate, cu cercetarea structurii fizice și a compoziției chimice a obiectelor cosmice, ca și cu cercetarea evoluției lor. Cele mai importante metode de lucru ale astrofizicii sunt spectroscopia, fotometria și utilizarea fotografiei, metode care se condiționează reciproc.

Spectroscopia. Aceasta constituie un fundament al astrofizicii. În 1814, Fraunhofer descoperea, descompunând lumina solară cu ajutorul unei prisme pe un continuum luminos, circa 500 de linii întunecate, a căror cauză însă nu a putut-o intui. G.R. Kirchhoff și R.W. Bunsen au comparat liniile obținute de Fraunhofer cu spectrele elementelor chimice, dovedind prezența a numeroase elemente cunoscute, aflate pe Soare în stare gazoasă (1859). Prin aceasta, astronomia avea pentru prima dată posibilitatea de a cerceta calitatea luminii stelare și de a trage concluzii asupra stării fizice și a compoziției chimice a stelelor.

↗ Analiza spectrală, p. 123.



Aparatul spectral al lui Kirchhoff și Bunsen

Fotometria. Până în secolul al XIX-lea, strălucirea stelelor era apreciată pe baza unei scale de strălucire (ex. Argenlander 1844). K.F. Zöllner a construit un aparat special, fotometrul, folosit pentru măsurarea strălucirii stelelor (1861). Prin aceasta, exactitatea măsurătorilor a crescut considerabil.

↗ Magnitudinea fotometrică a stelelor, p. 108.

Fotografia. La sfârșitul secolului al XIX-lea, observarea vizuală a corpurilor cosmice a fost întregită prin introducerea fotografiei. Acest procedeu are avantajul de a însuma amprenta luminoasă a obiectelor cosmice. Prin folosirea unor timpi de expunere corespunzători, pot fi redate chiar și obiectele inaccesibile observațiilor vizuale. Plăcile fotografice folosesc drept documente pentru aprecieri ulterioare ale observației.

La sfârșitul secolului al XIX-lea, folosirea metodelor de cercetare astrofizică amintite mai sus au dus la acumularea unui cuprinzător material de observație, în special despre Soare și despre stelele cu luminozitate variabilă.

Cercetarea structurii stelelor

Astrofizica, în evoluţia sa, a ridicat întrebări asupra stării materiei din interiorul stelelor, ce nu putea fi observată direct şi care nu putea fi cercetată decât teoretic. Bazându-se pe legile termodinamicii (1865) şi teoria cuantică (1900), s-a dezvoltat încetul cu încetul o teorie a structurii interne a stelelor. H. Lane a ajuns la concluzia că legea gazelor ar fi valabilă şi pentru stele (1870).
R. Emden considera stelele ca fiind sfere de gaz (1907). K. Schwarzschild a schiţat un tablou al echilibrului radiativ al Soarelui (1908). M.N. Saha a dezvoltat o teorie a ionizării termice în atmosferele stelare (1920).
Pe aceste date se bazează ideea că atmosferele stelare sunt constituite în mare parte din hidrogen. A.S. Eddington ajunge la concluzia că energia produsă în interiorul stelelor este transportată la suprafaţa stelară sub formă de radiaţii (1927).

Diagrama Hertzsprung–Russel (1913). E. Hertzsprung şi H.N. Russell au descoperit, pe baza dispunerii stelelor într-o diagramă, corelaţii între mărimile lor de stare, de exemplu legături între magnitudine absolută şi clasa spectrală (diagrama de stare). Diagrama propusă era, în acelaşi timp, o cheie pentru înţelegerea evoluţiei stelelor (diagrama de evoluţie).
↗ Structura internă a stelelor, p. 124; ↗ DHR, p. 127.

CERCETAREA ASTRONOMICĂ ÎN SECOLUL AL XX-LEA

Cercetarea astronomică a secolului al XX-lea a fost marcată în special de următoarele evenimente:
- îmbunătăţirea şi amplificarea tehnicii de observare şi de evaluare;
- studierea proceselor evolutive în Cosmos;
- cercetarea structurii spaţiale a Universului;
- cercetările directe şi în apropierea corpurilor cereşti ale Sistemului Solar.

Descoperirile şi cunoştinţele, reunite, au dus la crearea concepţiei astronomice contemporane.

Dezvoltarea tehnicilor de observaţie

Construcţia de mari telescoape cu oglindă

Aproape în acelaşi timp cu descoperirea lunetei, a fost construit primul telescop cu oglindă (Newton, 1668). Fiabilitatea telescoapelor cu oglindă a crescut continuu. La sfârşitul secolului al XIX-lea şi începutul secolului al XX-lea, tehnologia construcţiei telescoapelor luase un mare avânt. Mari telescoape au apărut mai ales în S.U.A.
În 1917 este inaugurat observatorul de pe Muntele Wilson (S.U.A.); dotat cu un telescop cu o oglindă de diametru 2,5 km. Din 1948, în dotarea observatorului de pe Muntele Palomar (S.U.A.) se găseşte un telescop cu o oglindă de 5,08 m diametru. În 1976, la Zelenchuk (fosta U.R.S.S.) a fost pus în funcţiune un observator cu o oglindă de 6,1 m diametru.

Noua tehnică optică de observare. Pe Muntele Hopkins (S.U.A.) se află un aşa – numit *Multimirror–Telescop*, unde razele de lumină captate de şase oglinzi cu o deschidere de 1,82 m sunt concentrate într-un focar comun.

Este prevăzută construcţia unor telescoape cu diametrul oglinzii de până la 15 m, cu un sistem de oglinzi compus din mai multe piese (New Technology Telescope). Pentru a folosi la maximum costisitoarea aparatură, acestea vor fi amplasate în zone cu o climă favorabilă şi vor fi exploatate internaţional. ESO are în plan montarea unui telescop în Chile, compus din patru telescoape a câte 8 m diametru şi care are eficacitatea unui telescop de 16 m (Very Large Telescope). Pe La Silla (2400 m), în apropiere de Santiago de Chile, se află Observatorul Sudic European, folosit pentru observaţii de cel puţin opt ţări europene.

Exploatarea marilor telescoape. Observatoarele moderne, automatizate şi comandate prin satelit, sunt folosite rar pentru observaţii vizuale. Această sarcină este preluată de transformatoare optice şi de camere CCD. Cu ajutorul lor, sensibilitatea şi distanţa de observaţie a aparatelor creşte considerabil. Informaţiile sunt stocate şi pot fi utilizate ca documente.
↗ Reflector, p. 14; ↗ Telescop cu oglinzi multiple, p. 16.

Radioastronomia

În prima treime a secolului al XX-lea s-a reuşit, pentru prima dată, captarea radiaţiei de undă venită din spaţiu (K.G. Jansky, 1932). Prin aceasta, astronomiei i se deschidea, pe lângă fereastra optică, o fereastră nouă, cea a undelor radio. Apărea astfel radioastronomia, care a cunoscut o dezvoltare rapidă după cel de-al doilea război mondial. Radiotelescoapele recepteazǎ radiaţii emise de obiectele cosmice, invizibile în domeniul optic. Avantajul său îl constituie marea putere de pătrundere în interiorul Universului, pe care nu o au telescoapele optice. Dezavantajul constă în rezoluţia mai mică decât cea a instrumentelor optice.
Radioastronomia a condus la înregistrarea unui mare număr de descoperiri. Prin intermediul observaţiilor radioastronomice s-au descoperit, printre altele, emisia de unde radio cu lungimea de undă de 21 cm a atomilor neutri de hidrogen ce se află în spaţiul interstelar (1951), quasarii (1963), radiaţia 3K (1962), molecule anorganice şi organice (1963), pulsarii (1967).

Radiointerferometrul (sistemul de interferenţă). Cuplarea a două sau mai multor antene la un receptor cu o bază cât mai dezvoltată (de la câteva sute până la câteva mii de km) produce o creştere maximă a rezoluţiei, ceea ce face ca fiabilitatea radiotelescoapelor să fie mai mare decât cea a celor mai bune sisteme optice.
↗ Radiotelescopul, p. 21; ↗ Radiointerferometrul, p. 21.

Intrarea tehnicii spaţiale în cercetarea astronomică

Intrarea tehnicii spaţiale în cercetarea astronomică în cea de-a doua jumătate a secolului al XX-lea a lărgit şi a schimbat imaginea noastră despre Cosmos. Cercetarea corpurilor cereşti ale Sistemului Solar, atât din imediata apropiere, cât şi directă, transportul materialului cosmic pentru examinarea în laboratoarele terestre, ca şi primii paşi făcuţi pe suprafaţa Lunii de către locuitori ai Pământului (N. Armstrong, E. Aldrin, 1969) au condus la senzaţionale descoperiri. Sondele spaţiale au descoperit, printre altele, vulcani activi pe satelitul jupiterian Io, sateliţi până acum necunoscuţi, inelele planetelor Jupiter, Uranus şi Neptun etc.

Hubble Space Telescope. Un telescop cu o oglindă de 2,4 m diametru care, din anul 1990, evoluează pe o orbită în jurul Pământului. El transmite din spațiul cosmic imagini de înaltă definiție a corpurilor cosmice.

↗ Telescopul spațial, p. 22.

Apariția astronomiei „all waves"

Datorită zborurilor cosmice a devenit posibil, prin echiparea cu detectori speciali, să se recepționeze informații despre radiația din întreg spectrul electromagnetic. A apărut astfel astronomia panspectrală, care a deschis noi domenii de activitate.

Astronomia în infraroșu. Captatorii IR montați pe sateliți cercetează, printre altele, radiația infraroșie a stelelor tinere, al căror înveliș de praf este încălzit din interior spre exterior.

Astronomia în ultraviolet. Studiază, printre altele, Soarele în domeniul UV și obiectele ale căror maximum de radiație se află în domeniul ultraviolet, de exemplu Galaxiile Seyfert și quasarii.

Astronomia în domeniile Roentgen și gamma. Cercetează sursele de radiație Roentgen din galaxii, de exemplu sistemele de stele duble, și din sistemele extragalactice. Printre sateliții Roentgen de succes se numără UHURU (1970), Einstein (1978) și ROSAT (1990).

↗ Telescopul în infraroșu, p. 22; ↗ Telescopul Roentgen, p. 22.

Descoperiri și cunoștințe

Descoperirea surselor de emisie energetică a stelelor

Mult timp a dominat convingerea că stelele își dobândesc energia prin contracție (Helmholtz, 1846). Dezvoltarea fizicii atomice în secolul al XX-lea l-a condus pe A.H. Bethe și C.F. von Weizsäcker, independent unul de celălalt, la concluzia că sursa emisiei de energie o constituie procesele atomice care au loc în interiorul stelelor (1938). Prin acest proces, o stea își poate produce energia timp de milioane și miliarde de ani.

↗ Fuziunea nucleară, p. 125.

Elaborarea unei teorii privind evoluția stelelor

Deja I. Kant a emis ideea că formarea corpurilor cerești are o origine mecanică (1755). F.W. Herschel a dedus din observarea formelor nebuloaselor existența unei legături cu evoluția stelelor și a sistemelor stelare (1802). K.F. Zöllner elaborează o teorie a evoluției stelelor (pe la 1860). E. Hertzsprung și H.N. Russel bănuiesc existența giganticelor și piticelor (1913). H. Vogt și Russel descoperă că evoluția unei stele este posibilă atunci când masa sa ori compoziția chimică se schimbă (teoria univocității, 1930). Elaborarea unei teorii științifice a evoluției stelelor a fost posibilă abia după descoperirea adevăratelor surse de energie ale stelelor. La mijlocul secolului al XX-lea s-a reușit simularea pe calculator a modificărilor pe timp îndelungat produse în structura solară. Prin aceasta a devenit posibilă reconstituirea pe baze științifice a evoluției stelelor.

În ultimele decenii, înțelegerea evoluției stelelor s-a adâncit prin adăugarea de noi cunoștințe. În prezent, cercetările se concentrează în special asupra formării stelelor și a planetelor.

↗ Teoria Kant–Laplace privind formarea sistemului solar, p. 96;
↗ Evoluția stelelor, p. 134;
↗ Formarea planetelor din stele, p. 134.

Explorarea structurii galaxiei noastre

Teoriile despre Calea Lactee, elaborate în secolele al XIX-lea și al XX-lea, au fost completate de noile descoperiri survenite în prima jumătate a secolului al XX-lea. Astfel, H. Shapley determină depărtarea față de roiurile globulare și comunică dimensiunile reale ale galaxiei noastre (1918). M. Wolf aduce, cu ajutorul recensămintelor stelare, dovada că între stele se află materie întunecată (1920). Studiind raporturile de mișcare ale stelelor în sistemul Căii Lactee, J.H. Oort și B. Lindblad descoperă rotația diferențială a Galaxiei (1927). Observațiile radioastronomice conduc la descoperirea emisiei pe lungimea de undă de 21 cm a hidrogenului neutru interstelar (1951). Se descoperă structura spiralată a galaxiei noastre.

↗ Calea Lactee, p. 139.

Descoperirea altor sisteme stelare

Încă din 1755, I. Kant arăta existența așa - numitelor insule cosmice, iar F.W. Herschel era de părerea că există și alte sisteme stelare (1784). Totuși, existența altor sisteme stelare a putut fi dovedită abia la începutul secolului al XX-lea, după punerea în funcțiune a marilor telescoape. E.P. Hubble a reușit, cu ajutorul telescopului cu oglindă de 2,5 m al observatorului de pe Muntele Wilson, să descompună partea marginală a nebuloasei Andromeda în stele de-sine-stătătoare și chiar să descopere stele variabile, cu ajutorul cărora a putut determina distanța la care se găsește acest sistem stelar (1923). Chiar dacă distanța găsită de Hubble era mai mică decât cea stabilită astăzi (de 2,2 milioane ani-lumină) cu circa 50%, aceste măsurători au demonstrat totuși că obiectul vizat se afla cu mult în afara sistemului Căii Lactee. Observații ulterioare a circa 120 de „nebuloase" au adus, prin descompunerea regiunilor periferice în stele de sine stătătoare, dovada că este vorba despre sisteme stelare necunoscute până atunci.

În 1925, Hubble face o nouă clasificare a galaxiilor, clasificare ce este valabilă până astăzi. Hubble trece drept întemeietorul astronomiei extragalactice. Explorarea sistemelor stelare care tind spre formarea roiurilor (roiuri de galaxii, superroiuri) a devenit una dintre principalele ramuri de cercetare ale astronomiei, întrucât prin aceasta se acumulează noi cunoștințe despre macrostructura Universului.

↗ Sisteme stelare extragalactice, p. 148

Descoperirea expansiunii Universului

Între anii 1924 şi 1929, Hubble (iar din 1928 şi M. Humason) a cercetat spectroscopic viteza radială a galaxiilor. Deplasarea spre roşu a liniilor spectrale, pusă în evidenţă de aceste observaţii, care în baza efectului Doppler reprezintă o caracteristică pentru mişcarea de depărtare a respectivelor obiecte, a fost interpretată ca fiind dovada expansiunii Universului. Prin aceasta, previziunea teoretică a deplasării spaţiale a Cosmosului, emisă în jurul anului 1920, este confirmată şi prin observaţii. Studiind spectrele galactice, Hubble trage concluzia că viteza de îndepărtare a sistemelor stelare este cu atât mai mare, cu cât ele se află la o mai mare distanţă de Calea Lactee (efectul Hubble). Sporirea vitezei de îndepărtare pe măsura creşterii depărtării sistemului stelar este desemnată drept constanta Hubble. Hubble a găsit valoarea acestei constante $H_o = 580$ km/s · Mpc.

Determinări mai exacte ale distanţelor au diminuat ulterior de mai multe ori această valoare.

↗ Expansiunea Universului, p. 157.
↗ Viteza de evadare, p. 58, 158.
↗ Constanta Hubble, p. 158.

Cristalizarea cosmologiei moderne

Pe baza teoriei generale a relativităţii a lui Albert Enstein (1915) şi a descoperirii ulterioare a expansiunii Universului (1929), la începutul secolului al XX-lea a luat naştere cosmologia modernă, care se ocupă cu studiul structurii şi evoluţiei Universului ca întreg, ca şi cu elaborarea, în lumina noilor descoperiri, de modele ale Universului. Cosmologia, alături de cosmogonie (cercetarea evoluţiei obiectelor cosmice), a devenit o ramură dominantă a astronomiei. În jurul anului 1920, A. Friedmann şi W. de Sitter elaborează, pe baza teoriei generale a relativităţii, un model universal axat pe mişcarea spaţială a Cosmosului, model certificat ştiinţific, prin observaţii, în 1929.

↗ Modele ale Universului, p. 159.

Teoria big bang-ului

În anul 1927, A.G. Lemaître face publică o teorie, susţinută mai târziu, în 1948, cu argumente fizice de către G. Gamow, conform căreia Universul actual ar fi apărut în urma exploziei (big bang) a unui punct material foarte fierbinte şi extrem de dens. Teoria big bang-ului a fost modificată în special după 1980. Astfel, în anul 1983, A. Guth propune modelul inflaţionar.

În afară de acesta, au apărut şi alte alternative la teoria big bang-ului.

- Descoperirea radiaţiei de 3K (1965) este o excelentă dovadă pentru temeinicia prognozei teoretice a lui Lemaître şi Gamow.

↗ Explozia iniţială, p. 161.
↗ Univers inflaţionar, p. 162.

ISTORIA ASTRONOMIEI – TABEL CRONOLOGIC

Tabelul cronologic prezintă, în date selecționate, principalele etape ale istoriei cunoașterii științifice care au condus la cristalizarea modelului cosmologic actual.

[illegible]	[illegible]
aproximativ 3000 î.Hr.	Egiptenii dezvoltă un calendar pe baza anului solar de 365 de zile.
3379 î.Hr.	Malaşii observă o eclipsă totală de soare (15.02. 3379 î.Hr.).
aproximativ 2700 î.Hr.	Babilonienii numesc principalele constelații.
aproximativ 1250 î.Hr.	Chinezii dăltuiesc hărți cerești în piatră.
aproximativ 1200 î.Hr.	Babilonienii împart orbita aparentă a Soarelui în 12 semne zodiacale.
763 î.Hr.	Prima eclipsă totală de Soare consemnată în Babilon.
aproximativ 450 î.Hr.	Philolaos din Croton emite ideea că în mijlocul Universului s-ar afla un foc central, în jurul căruia s-ar mișca și Soarele, și Pământul, și planetele.
aproximativ 370 î. Hr.	Eudoxos din Cnidos construiește o teorie a sferelor concentrice în scopul explicării mișcării planetelor.
aproximativ 350 î.Hr.	Aristotel fundamentează ideea formei sferice a Pământului, ținând seama de umbra de formă sferică aruncată de Pământ în timpul eclipselor de Lună.
aproximativ 270 î.Hr.	Aristarh din Samos susține speculativ sistemul heliocentric. El încearcă să calculeze distanța până la Soare și Lună, folosindu-se de construcții geometrice.
aproximativ 220 î.Hr.	Eratostene află pentru prima dată circumferința Pământului și găsește înclinarea eclipticei.
aproximativ 150 î.Hr.	Hiparh notează în cataloage poziția și luminozitatea stelelor și descoperă, printre altele, precesia.
aproximativ 150	Claudius Ptolemeu (100–178) adună știința astronomică a antichității în opera sa „Mathematices syntaxeos biblia XII", care primește mai târziu numele de „Almagest" și care fundamentează sistemul geocentric.
1252	Din porunca lui Alfons al X-lea de Castilia sunt întocmite cele mai cunoscute tabele planetare ale Evului Mediu.

1420	Ulugh Beg înalță în Samarkand un observator și studiază stelele cuprinse în catalogul lui Ptolemeu.
1460	Georg Purbach (1423–1461) și Johannes Müller (Regiomontanus, 1436–1476) îmbunătățesc sistemul geocentric pe baza observațiilor lor asupra planetelor.
1474	Regiomontanus aduce pentru prima oară la cunoștința publicului descoperirea prin calcul a efemeridelor planetare.
1543	Opera principală a lui Nicolaus Copernic (1473–1543) apare sub titlul „De revolutionibus orbium coelestium libri VI". Ea pune bazele sistemului heliocentric.
1588	Tycho Brache (1546–1601) prezintă o teorie a planetelor care apare ca un compromis între teoriile heliocentrice și geocentrice. Brahe trece drept cel mai mare observator al timpurilor pretelescopice.
1600	Giordano Bruno (1543–1600) este condamnat de Inchiziție ca eretic și ars pe rug. Pentru el, Universul este nemărginit și cu un număr nesfârșit de sori, în jurul cărora se învârt planete; pe o parte din acestea este posibilă existența vieții.
1609	Johannes Kepler (1546–1601) prezintă în cartea sa „Astronomia Nova" două legi, formulate matematic, ale mișcării planetelor. A treia lege găsită de el a fost publicată în anul 1619 în lucrarea „Harmonices mundi".
1609	Galileo Galilei întreprinde prima observație a corpurilor cerești cu ajutorul lunetei, descoperind, printre altele, munții de pe Lună, petele solare, patru sateliți ai lui Jupiter și fazele planetei Venus. În principala sa operă, „Discorsi", susține sistemul heliocentric, ceea ce îi atrage, în anul 1633, condamnarea din partea Inchiziției.
1633	René Descartes (1596–1650) descrie în teoria sa turbionară Universul ca fiind rezultatul unui proces de dezvoltare istorică.
1676	Olaf Römer (1644–1710) determină viteza luminii pe baza intrării în conul de umbră a sateliților lui Jupiter.
1687	Isaac Newton (1643–1727) fundamentează teoria gravitației în principala sa operă, „Philosophiae naturalis principia mathematica".
1706	Edmund Halley (1656–1742) calculează orbita cometelor; găsește timpul în care cometa ce îi poartă numele descrie o rotație completă în jurul Soarelui.
1718	Halley descoperă mișcarea proprie a stelelor fixe.
1728	John Bradley (1692–1762), aflat în căutarea paralaxelor stelelor, descoperă aberația luminii stelare.

1750	Thomas Wright (1711-1786) face publică o primă descriere a formării Universului.
1755	Immanuel Kant (1724-1804) fundamentează în opera sa „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels", pe baza legii gravitației, ideea apariției naturale a corpurilor cerești și a evoluției Universului.
1781	Friedrich Wilhelm Herschel (1738 – 1821) descoperă planeta Uranus.
1783	Herschel descoperă mișcarea proprie a Sistemului Solar.
1784	Herschel face publice rezultatele observațiilor sale asupra Căii Lactee și fundamentează cu aceasta statistica stelară.
1794	Ernst Lorenz Friedrich Cladni (1756-1827) deduce din cercetări originea cosmică a meteoriților.
1796	Pierre Simon Laplace (1749-1827) explică formarea planetelor din inelele de gaz desprinse din Soare.
1801	Giuseppe Piazzi (1746-1826) descoperă primul planetoid (Ceres). Herschel descoperă natura fizică a stelelor duble.
1809	Carl Friedrich Gauss (1777-1855) publică metoda sa clasică de calculare a orbitelor planetelor.
1814	Joseph Fraunhofer (1787-1826) descoperă în spectrul solar peste 500 de linii de absorbție.
1838	Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) calculează paralaxa stelei G1 Cygni. În același timp, W. Struwe și Th. Herderson calculează și alte paralaxe. Se demonstrează astfel depărtarea diferită a stelelor față de Pământ.
1846	Johann Gottfried Galle (1812-1910) descoperă planeta Neptun pe baza punctelor în care orbita lui Uranus prezenta „perturbații", puncte calculate în prealabil de Urbain Leverrier (1811-1877).
1853	Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholz (1821-1894) încearcă să explice emisia de energie a Soarelui prin procesul său de contracție.
1859	Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) și Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) descoperă principiul analizei spectrale, a cărui aplicare în astronomie a deschis calea studierii fizicii corpurilor cerești.
1861	Karl Friedrich Zöllner (1834-1882) descoperă fotometrul, folosit pentru măsurarea intensității luminii stelare. El este cofondator al astrofizicii.
1864	William Huggins (1824-1910) observă primul liniile de emisie în spectrul nebuloaselor.

1866	Angelo Secchi (1818–1878) introduce prima clasificare a spectrelor astrale, care va fi întregită şi extinsă de către Hermann Carl Vogel, Edward Charles Pickering ş.a.
1868	Huggins întreprinde prima măsurătoare a vitezei radiale a stelelor.
1887	Max Wolf (1863–1932) şi E.E. Barnard (1857–1923) realizează pentru prima dată înregistrări fotografice ale obiectelor cosmice.
1898	Hugo von Seelinger (1840–1924) şi Jacobus Kepteyn (1851–1922) cercetează cu ajutorul metodelor statistice răspândirea stelelor în spaţiu.
1906	Karl Schwarzschild (1873–1916) publică o teorie asupra atmosferelor stelare.
1907	Robert Emden (1862–1940) prezintă o teorie a structurii stelare.
1913	Henry Norris Russell (1877–1957) combină într-o diagramă mărimile de stare ale stelelor (diagrama Hertzsprung–Russell).
1915	Albert Einstein (1879–1955) publică teoria generală a relativităţii, care constituie baza ştiinţifică pentru cosmologia modernă.
1918	Harow Shapley (1885–1972) cercetează răspândirea în Univers a nebuloaselor sferice şi descoperă, cu această ocazie, adevăratele dimensiuni ale Căii Lactee.
1920	Wolf dovedeşte prin recensăminte stelare existenţa găurilor negre şi aduce dovada că între stele există materie care este absorbită.
1920	Megh Nad Saha (1893–1956) dezvoltă o teorie a ionizării în atmosferele stelare.
1922	Alexander Friedmann (1888–1925) dezvoltă pe baza teoriei generale a relativităţii modelul unui univers în continuă expansiune.
1923	Edwin Powell Hubble (1889–1955) reuşeşte să măsoare distanţa până la alte sisteme solare. El trece drept întemeietorul astronomiei extragalactice.
1927	John Hendrik Oort (1900–1992) şi Bertil Lindblad (1895–1965) descoperă rotaţia diferenţială a galaxiei noastre.
1927	Arthur Stanley Eddington (1882–1944) emite o teorie modernă a structurii stelelor.
1927	Georges Lamaître (1894–1966) îşi publică teoria despre naşterea universului actual dintr-un atom primordial.

1929	Hubble şi Milton Lasalle Humason (1891–1972) descoperă în spectrele galaxiilor îndepărtate o virare spre roşu, explicată prin expansiunea Universului.
1930	Clyde William Tombaugh găseşte planeta Pluto pe o înregistrare fotografică.
1932	Karl Guthe Jansky (1905–1950) receptează emisii radio din galaxii şi deschide, în acest mod, o nouă fereastră de observaţie astronomică.
1938	Hans Albrecht Bethe şi Carl Friedrich von Weizsäcker descoperă procesele fizice din nucleul stelelor, sursă a emisiei de energie a stelelor.
1943	Walter Baade (1893–1960) deduce existenţa a două populaţii stelare.
1947	Viktor Ambarzumian descoperă asociaţiile stelare.
1949	Purcell şi Ewen descoperă linia de 21 cm a hidrogenului neutru, presupusă de H.C. van Hulst şi Iosif Şklovski.
1952	Martin Schwarzschild şi Allan Rex Sandage dovedesc prin calcule că gigantica roşie reprezintă un stadiu al evoluţiei unei stele.
1958	James A. van Allen descoperă centura de radiaţii a Pământului.
1959	Primele fotografii ale feţei invizibile a Lunii, realizate cu ajutorul unei rachete.
1961	Iuri Gagarin (1934–1968) întreprinde primul zbor al unui om în spaţiul cosmic.
1962	R. Rossi şi Ricardo Giaconni descoperă baza radiaţiei Roentgen.
1963	Maarten Schmidt descoperă primul quasar.
1965	Arno Penzias şi Robert Woodrow Wilson descoperă radiaţia 3 K.
1965	Rudolf Kippenhahn şi Alfred Weigert dezvoltă un model numeric al evoluţiei stelelor.
1969	Neil Armstrong şi Edwin Aldrin sunt primii pământeni care păşesc pe suprafaţa Lunii.
1969	Prin observaţii radioastronomice se demonstrează pentru prima dată existenţa moleculelor organice în spaţiul interstelar.
1974	Înregistrări de la mică distanţă scot la iveală structuri de cratere pe suprafaţa planetei Mercur.
1974	R.A. Hulse şi J.H. Taylor observă dublul pulsar 1913 + 16 (1974).
1976	Sunt transmise spre Pământ primele imagini ale unui peisaj marţian.

1977	J. Elliot, T. Dunham şi D. Mink descoperă un sistem de inele la planeta Uranus.
1978	W. Christy descoperă satelitul planetei Pluto, Charon.
1979	O sondă spaţială descoperă sulfo-vulcanismul de pe satelitul lui Jupiter, Io, şi inelele din jurul planetei Jupiter.
1982	Descoperirea unor mari spaţii libere de materie în Cosmos, un prim indiciu al structurii celulare a Universului.
1986	Înregistrări de la mică distanţă ale suprafeţei planetei Uranus. Sunt descoperiţi cel puţin zece sateliţi ai lui Uranus.
1986	Explorarea de la mică distanţă a cometei Halley.
1987	I. Shelon descoperă o supernovă (SN 1987A) în Marele Nor al lui Magellan.
1989	O sondă spaţială descoperă inele în jurul planetei Neptun şi găseşte cel puţin şase sateliţi ai acestuia.
1989	Este lansată sonda spaţială Magellan, având ca ţintă planeta Venus.
1989	Lansarea satelitului de astrometrie HIPPARCOS.
1990	Punerea în funcţiune a primului mare telescop din spaţiul extraterestru (HUBBLE SPACE TELESCOPE).
1990	Lansarea satelitului Roentgen ROSAT.
1990	Lansarea sondei spaţiale GALILEO, a cărei ţintă este planeta Jupiter.
1991	Lansarea satelitului GRO pentru măsurarea radiaţiei gamma din spaţiu.
1992	Primele imagini de la mică distanţă ale suprafeţei unui planetoid (Gaspra).
1994	Observarea căderii de fragmente din cometa Shoemaker-Levy 9 în atmosfera jupiteriană.

UNITĂŢI FIZICE ŞI SIMBOLURI ASTRONOMICE; ABREVIERI

☉	Soare	♃	Jupiter	♈	Berbec	♎	Balanţă
☾	Lună	♄	Saturn	♉	Taur	♏	Scorpion
☿	Mercur	⛢	Uranus	♊	Gemeni	♐	Săgetător
♀	Venus	♆	Neptun	♋	Rac	♑	Capricorn
♁	Pământ	♇	Pluto	♌	Leu	♒	Vărsător
♂	Marte			♍	Fecioară	♓	Peşti

☌	conjuncţie	ω	argument de latitudine al periheliului	elementele orbitei
□	cuadratură	q	cea mai mică distanţă faţă de Soare	
☍	opoziţie	Q	cea mai mare distanţă faţă de Soare	
☊	nod ascendent	☊	longitudinea nodului ascendent	
☋	nod descendent	i	înclinarea orbitei	
		e	excentricitatea orbitei	
		a	semiaxa mare a orbitei	
		T	momentul trecerii prin periheliu, perigeu, periastru	

a	azimut	pc	parsec
Å	Angström	P, U	perioada de revoluţie
UA	unitate astronomică	Sp	clasa spectrală
d	distanţa polară	t	unghiul orar
f	distanţa focală	TLR	timp local real
g	acceleraţie gravitaţională	UT	timp universal
G	constanta gravitaţiei	z	distanţa zenitală
h	înălţime	z	deplasarea spre roşu
h	ora	♈	punct vernal
H_0	constanta Hubble	α	ascensie dreaptă
I	intensitate	δ	declinaţie
L	luminozitate	t	timp stelar
a.l.	an-lumină	p	paralaxă
m	magnitudine aparentă	ϕ	latitudine geografică
CET	Ora Europei Centrale	′	minut de arc
CEST	Ora de vară a Europei Centrale	″	secundă de arc

Prescurtările h, min, s (oră, minut, secundă) date ca indici superiori (de exemplu $23^h\ 30^{min}\ 24^s$) reprezintă un moment dat, respectiv coordonatele punctului. Când aceste prescurtări au aceeaşi mărime ca şi cifrele pe care le preced (de exemplu 23h 30min 24s) atunci ele reprezintă durata.
$36^0 24' 48''$ înseamnă 36 grade, 24 minute de arc şi 48 secunde de arc.

INDEX

A
accelerația gravitațională 120
activitatea solară 104
Almagest 171
analiza spectrală 123
anotimpuri 34
anul 39
anul bisect 39
anul comun 39
anul-lumină 112
apariția astrofizicii 176
arheoastronomia 165
ascensia dreaptă 44
asociațiile de stele 142
astrologia 166
astrometria 175
astronomia 7,165
astronomia „all waves" 179
astronomia în America Centrală 168
astronomia în Babilon 166
astronomia în Egipt 167
astronomia în Evul Mediu timpuriu 171
astronomia în Grecia 168
atlasul stelar 28
azimutul 42

B
buclele orbitelor planetare 53

C
Calea Lactee 139
calcularea orbitelor pentru corpurile cereşti artificiale 57
calendarul 39
calendarul gregorian 39
calendarul iulian 39
caracteristicile cometelor 90
câmpuri de radiații 9
câmpuri gravitaționale 9
câmpuri în Univers 9
câmpuri magnetice 9, 121
centura Van Allen 66
cercul orar 43
Charon 88
ciclul Bethe-Weizsäcker 125
ciclul Saros 80
clasa de strălucire 129
clasa spectrală 120
coelostatul 19
cometele 90
condritele 94
constanta Hubble 158, 181
constanta solară 101
constelațiile 27
coordonatele astronomice 40
coordonatele ecliptice 45
coordonatele ecuatoriale 44
coordonatele galactice 46
coordonatele heliocentrice 46
coordonatele orare 43
coordonatele orizontale 41
coordonatele sferice 40
coronograful 16
corpul radiant negru 114
corpuri cereşti artificiale 57
cosmogonia Sistemului Solar 96
cosmologia 155, 181
Cosmosul 8
culminația 31

D
data iuliană 40
declinația 44
definiția astronomică a timpului 35
definiția fizică a timpului 35
definiția timpului 35
densitatea critică a materiei 157
densitatea medie a stelelor 119
depărtarea sistemelor stelare 152
descoperirea altor sisteme stelare 180
descoperirea expansiunii Universului 181
descoperirea planetelor Uranus, Neptun şi Pluto 174
descoperirea planetoizilor 174
determinarea diametrului stelelor 116
determinarea distanțelor:
– prin metoda cefeidelor 111
– prin metoda deplasării spre roşu 111
– prin metoda fotometrică 110
– prin metoda trigonometrică 109
determinarea masei stelelor 118
determinarea temperaturii stelelor 113
determinarea valorii curburii spațiului 157
determinarea vârstei proceselor cosmice 161
determinarea vârstei roiurilor de stele 137
determinarea vârstei stelelor 136
diagrama culoare - magnitudine 129
diagrama Hertzsprung – Russell 127, 177

E
eclipsele 78
eclipsele de Soare 78
ecliptica 31

ecometoda 109
ecuatorul ceresc 26
ecuatorul galactic 46
ecuația lui Drake 135
ecuația timpului 37
efectul Doppler 122
efectul swing-by 60
efectul Zeeman 121
elementele orbitei unei planete 52
evoluția Universului 162
experimentul în astronomie 11
explorarea structurii Căii Lactee 180
explozia inițială 161, 181
extincția 108

F
familii de comete 92
faza primordială fierbinte a Cosmosului 161
formarea planetelor 133
formarea sistemelor stelare 154
formarea Sistemului Solar 96
formele de relief selenare 82
fotografia 176
fotometria 176
frecvența vieții în Cosmos 135
fusul orar 37
fuziunea nucleară 125

G
galaxiile 148
galaxii active 150
gazul interplanetar 95
gazul interstelar 144
găurile negre 135
geometria spațiului cosmic 156
gravitația 8, 48

H
harta cerească 28
harta cerească rotativă 28

I
Ierarhia Cosmosului 155
imaginea Universului în Grecia timpurie 169
indicele cromatic 129
inteligența extraterestră 136
intensitatea luminii 17
interferometria Speckle 116

Î
înălțimea 41
înclinația eclipticii 31

J
Jupiter 70

L
legea deplasării a lui Wien 115
legea radiației a lui Planck 114
legea Stefan-Boltzmann 115
legile cosmogonice 97
legile lui Kepler 54, 173
legile planetelor 173
legile radiației 114
limitele cunoașterii 10
lumina cenușie a Lunii 77
lumina zodiacală 95
Luna, alcătuirea internă 84
Luna, cutremurele 84
Luna, date importante 75
Luna, eclipsele 79
Luna, fazele 77
Luna, mareele 80
Luna, mișcările 76
Luna, perioada de revoluție 77
Luna, proprietăți fizice 81
Luna, rotația combinată 77
Luna, satelitul terestru 75
Luna, suprafața 81
Luna, vârsta 77
luneta cu lentilă 13

M
magnitudinea 107
magnitudinea absolută 107
magnitudinea aparentă 107
magnitudinea-limită 17
mareele 80
Marele Zid 156
Marte 68
materia intergalactică 154
materia interplanetară 95
materia interstelară 9, 144
mărimile de stare ale stelelor 112
mărirea 16
mecanica cerească 173
Mercur 63
meridianul 26
meteori, meteoriți 92
metoda cefeidelor 111
metoda deplasării spre roșu 111, 122
mișcarea anuală a Soarelui 32
mișcarea Lunii 76
mișcarea peculiară 147
mișcarea stelelor 146
mișcarea sistemelor stelare 151
mișcarea zilnică a stelelor 29
mișcările geocentrice ale planetelor 53
mișcările heliocentrice ale planetelor 50
modelele Universului 159
modelul Friedmann 159
modelul heliocentric 172
modelul stelar 124
montarea telescopului 17

N
nadirul 25
Neptun 74
noaptea polară 35

O
obiectele din Sistemul Solar 47
obiectul de studiu al astronomiei 7
observarea 11
orizontul 25
orizontul aparent 25
orizontul evenimentelor 11
orizontul natural 25
orizontul Universului 159

P
parsecul 112
Pământul 65
perioada de revoluție a planetelor 50
perioada de revoluție siderală:
– a Lunii 77
– a planetelor 50
perioada de revoluție sinodică:
– a Lunii 77
– a planetelor 50
piticile albe 134
planetele 49
planetele, apariția 96, 133
planetele, buclele orbitelor 53
planetele, clasificare fizică 61
planetele, dimensiuni 61
planetele jupiteriene 70
planetele, legile mişcării 173
planetele, mişcări geocentrice 53
planetele, mişcări heliocentrice 50
planetele, perioada de revoluție 50
planetele terestre 62
planetele, vizibilitatea 53
planetoizii 89
ploile de meteori 92
Pluto 74
polii cereşti 26
praful interplanetar 95
praful interstelar 145
precesia 33
principiul cosmologic 155
procese de contracție, stelele 127
procesul Salpeter 126
producția medie de energie a stelelor 120
pulsarii 129
punctul autumnal 33
punctul vernal 33

Q
quasarii 151

R
radiația 3K 162
radiația cosmică 146
radiația relictă 162
radiogalaxiile 150
radiointerferometrul 178
radiotelescopul 21
raza de curbură 157
raza Universului 157
reacția heliului 126
reacția proton-proton 125
reflectoarele parabolice 21
reflectorul 14, 177
refractorul 13
relația perioadă – magnitudine 132
repartiția masei în interiorul stelelor 124
repartiția masei în Sistemul Solar 48
repartiția temperaturii în interiorul stelelor 124
revoluția siderală 77
revoluția sinodică 77
rezoluția 16
roiurile de galaxii 152
roiurile deschise 142
roiurile de stele 137, 142
roiurile globulare 143
roiurile mobile 142
rotația Căii Lactee 147
rotația combinată a Lunii 77

S
satelitul lui Pluto 88
sateliții naturali 75
sateliții galileeni 86
sateliții lui Jupiter 86
sateliții lui Neptun 88
sateliții lui Saturn 87
sateliții lui Uranus 87
sateliții lui Marte 85
sateliții planetelor jupiteriene 85
semnele zodiacale 31, 167
sfera cerească 25
sisteme eliptice 149
sistemele pseudospirale 149
sisteme spirale 148
sistemele stelare, descoperirea 180
sistemele neregulate 149
Sistemul Solar 47
Sistemul Solar, formarea 96
Sistemul Solar, vârsta 96
Soarele 99
Soarele, activitatea 104
Soarele, atmosfera 103
Soarele, caracteristici fizice 99
Soarele, compoziția chimică 101
Soarele, constanta solară 101
Soarele, emisia de neutrini 101
Soarele, emisia de particule 101
Soarele, mişcarea anuală 32
Soarele, radiația 100
Soarele, relații solaro-terestre 105
Soarele, spectrul 100
Soarele, structura 101
spectroscopia 176
spectrul electromagnetic 7
statistica stelară 175
stelele 99
stelele, câmpuri magnetice 121

stelele circumpolare 30
stelele, clasa de strălucire 129
stelele, compoziția chimică 123
stelele, densitatea medie 119
stelele, denumirea 26, 106
stelele, depărtarea 112
stelele, determinarea distanțelor 109
stelele, diametrul 116
stelele duble 130
stelele, emisia de energie 120, 125, 179
stelele, evoluția 134, 179
stelele, formarea 133
stelele, magnitudinea 107
stelele, masa 118, 124
stelele, mişcările 146
stelele multiple 130
stelele neutronice 129
stelele, procese de fuziune 125
stelele, rotația 121
stelele, starea de echilibru 124
stelele, strălucirea 113
stelele, structura 124, 177
stelele, temperatura 113, 124
stelele variabile 130
stelele, vârsta 136
string-urile 156
structura Căii Lactee 140
structura cometelor 90
structura fizică a Sistemului Solar 47
structura internă a stelelor 124
superroiurile de galaxii 153

Ş

şirul Titus - Bode 51

T

teoria 12
teoria Big Bounce 164
teoria epiciclului 169
teoria Kant - Laplace 96
teoria materie - antimaterie 164
teoria Steady State 163
telescopul cu oglindă 14, 177
telescopul cu oglinzi multiple 16
telescopul în infraroşu 22
telescopul optic 12
telescopul spațial 22
telescopul Roentgen 22
timpul local 37
timpul sideral 38
timpul solar 35
timpul solar mediu 36
tipuri de viață cosmică 135
traiectoria diurnă 31
traiectoria zborurilor interplanetare 59
traiectoriile Hohmann 60

U

unghiul orar 43
unitatea astronomică 112
unități de distanță 111
Universul 8
Universul inflaționar 162
Uranus 73
Uranus, descoperirea 174

V

variabile, stele variabile 130
vârsta Sistemului Solar 96
vârsta stelelor 136
vârsta Universului 160
Venus 64
viteza de evadare 58, 158
viteza hiperbolică 59
viteza orbitală a corpurilor cereşti artificiale 57
viteza pe orbita circulară 57
viteza orbitală medie a planetelor 51
viteza radială 158
vizibilitatea planetelor 53

Z

zenitul 25
ziua polară 35
ziua siderală 38
zodiacul 31